Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke Aktiengesellschaft
Bibliothek:
Gruppe I H
II H
33
BHS II H 33.

Die

Naturlehre

nach ihrem

gegenwärtigen Zuſtande

mit Rückſicht

auf mathematiſche Begründung.

Dargeſtellt

von

Dr. Andreas Baumgartner,

k. k. Regierungsrathe, Director der k. k. Aerarial-Porcellan-, Gußſpiegel- und Smalte-Fabriken, Ritter des königl. ſächſiſchen Civil-Verdienſt-Ordens, Mitglied mehrerer in- und ausländiſchen gelehrten Geſellſchaften.

Siebente Auflage

von Genanntem und von

Dr. Andreas v. Ettingshauſen,

Profeſſor der Phyſik, emeritirtem Profeſſor der höheren Mathematik an der k. k. Univerſität zu Wien, Mitglied mehrerer in- und ausländiſchen gelehrten Geſellſchaften,

gemeinſchaftlich umgearbeitet.

Mit acht Kupfertafeln.

Wien, 1842.

Gedruckt und im Verlage bei Carl Gerold.

II H 30

BIBLIOTHEK DER K. B. GENERAL BERG- U. SALINEN ADMINISTR.

Bayerische Staatsbibliothek München

127 b

Bibliothek der k. General-Bergwerks- und Salinen-Administration.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Vorrede.

Bei den raſchen Fortſchritten der Naturlehre in unſeren Tagen kann ein Buch, welches dieſe Wiſſenſchaft mit einiger Vollſtändigkeit darzuſtellen beabſichtiget, wenn es ihm beſchieden iſt, ſich wiederholter Auflagen zu erfreuen, auch wenn dieſe in kurzen Zeitabſchnitten auf einander folgen, ſehr bedeutenden Umſtaltungen und Zuſätzen nicht entgehen. Wird überdieß ein ſolches Buch bei dem öffentlichen Lehrvortrage benützt, und dadurch dem Verfaſſer Gelegenheit gegeben, die Zweckmäßigkeit ſeiner Darſtellungsweiſe dem Prüfſtein eigener und fremder Erfahrung zu unterziehen, ſo darf derſelbe, ſchon aus Achtung vor dem Publikum, nicht unterlaſſen, bei jeder neuen Auflage auch an die ſtabileren Partien ſeines Werkes die Feile fleißig anzulegen.

Dieſe Bemerkungen erklären, warum vorliegendes Buch, das, bei ſtets gleicher Tendenz und gleichem Geiſte der Behandlung ſeines Gegenſtandes, bereits die ſiebente Auflage erlebt, dennoch wieder mit bereichertem Inhalte und in geänderter Form erſcheint.

Wer mit dem Gange der Naturlehre während der ſeit der Exiſtenz dieſes Buches verfloſſenen neunzehn Jahre bekannt iſt, wird in jeder einzelnen Auflage das redliche Beſtreben nicht verkennen, dem Leſer ein möglichſt deutliches und treues Bild des jedesmaligen Zuſtandes der Wiſſenſchaft zu verſchaffen. Zur Beurtheilung deſſen, was nach und nach zur Verbeſſerung des Buches geſchehen iſt, dürfte es zweckmäßig ſeyn, der Andeutung der Veränderungen und Zuſätze, welche gegenwärtiger Auflage zu Theil wurden, einen kurzen Abriß der Schickſale der früheren Auflagen vorangehen zu laſſen.

Die erſte Auflage erſchien im Jahre 1823 in drei kleinen Bänden, welche zuſammen 40 Druckbogen und 10 Tafeln enthielten; aber ſchon im Jahre 1826 wurde eine neue Auflage noth-

wendig, und dieſe erſchien in demſelben Jahre in einem einzigen Bande mit 45 Druckbogen und 7 Tafeln. Da das Werk inzwiſchen zum Vorleſebuche in den deutſchen öſterr. Staaten beſtimmt worden war, mußten mehrere Abänderungen im Plane und in der Darſtellung vorgenommen werden. Die Reduction auf einen einzigen Band geſchah der Raumerſparung wegen und zur Erzielung eines geringeren Preiſes; der Gebrauch bei den öffentlichen Vorleſungen machte eine ausführlichere Behandlung der chemiſchen Lehren und eine Beſchränkung der mathematiſchen Sätze nothwendig, doch ging letztere nur ſo weit, daß dabei der Titel des Buches, der die Naturlehre mit beſonderer Rückſicht auf mathematiſche Begründung darzuſtellen verſprach, noch immer unverändert beibehalten werden konnte, um ſo mehr, als ein Supplementband nachfolgen ſollte (der auch im Jahre 1831 wirklich erſchien), wo der Leſer eine ausführliche Behandlung der mathematiſchen Lehren finden ſollte, und die mathematiſche Begründung der Naturlehre nicht auf wirklich ausgeführten Rechnungen, ſondern auf einer zur mathematiſchen Behandlung geeigneten Darſtellung der Begriffe und Thatſachen beruht. Eine beſondere Zugabe zur zweiten Auflage war die Lehre von der ſchwingenden Bewegung des Waſſers, weil gerade zur Zeit ihres Erſcheinens die phyſiſche Literatur mit der Gebrüder Weber vortrefflichem Werke über die Wellenlehre bereichert wurde, durch welches dieſer wichtige Theil der Phyſik auch Anfängern zugänglich gemacht wurde, während er früher nur als Eigenthum gewandter Mathematiker angeſehen werden konnte, ja ſelbſt dieſen nicht ſo klar zu ſeyn ſchien, als er es jetzt jedem nur einigermaßen denkenden Kopfe gemacht werden kann. Im Jahre 1829 trat die dritte Auflage ans Licht. Sie erſchien wieder in einem einzigen Bande, mit 49 Druckbogen und 8 Tafeln, und zu gleicher Zeit wurde die zweite Auflage ins Italieniſche überſetzt. Die vielen, im Verlaufe der Zeit durch die Fortſchritte der Phyſik und die Erfahrungen des Verfaſſers im Lehrfache nothwendig gewordenen Zuſätze machten es aber unerläßlich, den Druck enger einzurichten und, beſonders in den Citaten, manche Abkürzung einzuführen. Die Ausbildung der Elektricitätslehre und die Wichtigkeit der Unterſuchungen des elektriſchen Stromes durch die Magnetnadel veränderten die Ordnung der Materien des zweiten Theils und nöthigten die Lehre vom Magnetismus der Elektricität vorauszugehen, um ihr hülfreiche Hand leiſten zu können, die Elektricitätslehre ſelbſt bekam eine ganz neue Anordnung und ſollte die Spuren der den

Geiſt der Wiſſenſchaft verletzenden, chronologiſchen Anordnung ihrer einzelnen Theile verlieren, die in den früheren Auflagen und faſt in allen phyſikaliſchen Werken nur zu deutlich hervortritt, ja es ſollte bei dieſer Lehre dasſelbe Princip der Anordnung geltend gemacht werden, welches bei der Mechanik der ſchweren Körper längſt herrſchend geworden iſt, wo man die Geſetze der Bewegung von jenen des Gleichgewichts aufs ſtrengſte abſondert. Im Jahre 1832 wurde die vierte Auflage (mit 8 Kupfertafeln und 841 Seiten Text) nothwendig; ſie unterſchied ſich von der dritten durch jene Modificationen, welche die ſchnellen Fortſchritte der Wiſſenſchaft und die Erfahrungen des Verfaſſers herbeiführten. So z. B. war in derſelben der chemiſche Theil ſtark umgearbeitet, insbeſondere um ihn der Idee einer allgemeinen phyſikaliſchen Chemie näher zu bringen; die Lehre von den Molecularkräften wurde mehr begründet, und die darauf beruhenden Erörterungen ſollten mehr Beſtimmtheit und Schärfe erhalten, die Optik wurde beſonders in ihrem photometriſchen Theile ausführlicher bearbeitet und die Elektricitätslehre ſtark abgeändert. Im Jahre 1836 erſchien die fünfte Auflage, an Format und Druck ihren Vorgängern gleich, aber mit 9 Kupfertafeln und 55 Bogen Text. Hier haben wieder die Optik und die Elektricitätslehre die meiſten Veränderungen und Bereicherungen erfahren. In erſterer wurden die hypothetiſchen Erörterungen über die Natur des Lichtes von den Darſtellungen der optiſchen Geſetze ganz getrennt, und dabei die Emanationshypotheſe nur als hiſtoriſche Merkwürdigkeit behandelt, in der feſten Ueberzeugung, daß ſie auf keinen beſſeren Platz mehr Anſpruch machen kann, als auf das Archiv der Phyſik. Die Elektricitätslehre erſtreckt ihren Einfluß eben ſo auf jene vom Magnetismus, wie die Optik auf die Wärmelehre Einfluß nimmt, und es mußte ſchon darum der Abſchnitt vom Magnetismus einige Modificationen erfahren, abgeſehen, daß auch in dieſem Theile der Naturlehre ſchätzbare Erweiterungen durch den Fleiß und das Genie der Phyſiker eingetreten ſind, worunter die von Faraday entdeckte Erregung elektriſcher Ströme durch galvaniſche und magnetiſche Induction den erſten Platz behauptet.

Mit der im Jahre 1839 ans Licht getretenen ſechsten Auflage beginnt ein neuer Abſchnitt in der Geſchichte des Buches. Der Verfaſſer, deſſen veränderte Wirkungsſphäre ihm nicht mehr erlaubte die Ausbildung des Lehrvortrages der Naturlehre als eines der Hauptziele ſeiner Thätigkeit zu betrachten, aber aus eigener Erfahrung mit dem wohlthätigen Einfluſſe bekannt, den die wirk-

liche Ausübung des Lehramtes auf das Gedeihen ſeines Buches hatte, glaubte dieſes am beſten dadurch zu fördern, daß er ſich mit ſeinem Freunde und Nachfolger im Lehramte der Phyſik an der Wiener Univerſität (deſſen Rath ihm ſchon bei der erſten Auflage nützlich war, und dem er auch das Buch gewidmet hatte) zur gemeinſchaftlichen Bearbeitung der neuen Auflage verband. Der gedrängtere Druck geſtattete, der Vermehrungen ungeachtet, das Ganze auf 49 Druckbogen und 8 Tafeln zuſammenzuziehen. Plan und Anordnung blieben hier, wenigſtens dem Principe nach, dieſelben; die wichtigſten Aenderungen betrafen die Einleitung und das erſte Kapitel, wo mehrere Begriffe ſchärfer geſtellt wurden, die Lehre von den einfachen Maſchinen, welche auf einen einzigen Lehrſatz zurückgeführt wurde (ſ. gegenwärtige Auflage S. 109), mehrere Stellen in der Lehre von der Bewegung, vornehmlich aber die Optik und die Elektricitätslehre. In erſterer insbeſondere wurden die Folgerungen aus den Thatſachen von jenen aus hypothetiſchen Vorausſetzungen ſtreng geſchieden, die Ableitung der Erſcheinungen aus der Undulationstheorie aber ſo vollſtändig gegeben, als es ohne Hilfe der höheren Analyſe thunlich war, wobei ſich Gelegenheit fand einige neue Demonſtrationen vorzutragen.

Die gegenwärtige ſiebente Auflage wurde von den beiden Herausgebern wieder in völliger Uebereinſtimmung einer, aber tiefer eingreifenden Umarbeitung unterzogen, und ſie haben alle Kräfte aufgeboten, um dieſe Auflage des Prädicates einer vermehrten und verbeſſerten würdig zu machen. Die Einleitung und das Kapitel von den allgemeinen Eigenſchaften der Körper erhielten eine wiederholte Ausfeilung; der chemiſche Theil wurde vom Grunde aus neu gearbeitet, und ſo gehalten, daß die Principien, deren Inbegriff den eigentlichen phyſikaliſchen Theil der Chemie ausmacht, möglichſt ans Licht treten; dabei war man ſorgfältig darauf bedacht, den Leſer mit der Sprache und der Vorſtellungsweiſe der jetzt herrſchenden beſten Schule gründlich bekannt zu machen, damit er, bei weiterer Ausbildung mittelſt der Werke der Meiſter, die von dieſen vorgetragenen Lehren nur als Fortſetzung ſeiner bereits erworbenen Anfangsgründe betrachten und jene ſogleich an dieſe anknüpfen könne, ohne erſt eine neue Sprache lernen und neue Vorſtellungsweiſen ſich aneignen zu müſſen. In der Statik wurde der in den früheren Auflagen vorgetragene Beweis Duchayla's für den Satz vom Parallelogramme der Kräfte durch einen anderen erſetzt, der in der Hauptſache mit dem vor langer Zeit von dem trefflichen deutſchen Mathematiker Lambert

gegebenen, aber wie es ſcheint wenig beachteten Beweiſe des genannten Satzes übereinſtimmt. Dieſer Beweis iſt von dem Uebelſtande frei, die Zuſammenſetzung der auf einen iſolirten Punct wirkenden Kräfte auf Prämiſſen zu gründen, welche das Vorhandenſeyn eines Syſtems unveränderlich verbundener Puncte vorausſetzen, und auf Eigenſchaften eines ſolchen Syſtemes beruhen. Die Lehre von den Capillarphänomenen tropfbarer Flüſſigkeiten, die Sätze von dem Gleichgewichte der Gaſe, die Hygrometrie erhielt eine ganz neue Bearbeitung. Die Lehre von der ſchwingenden Bewegung der Körper wurde als ein ſelbſtſtändiges Ganzes behandelt, deſſen Principien auf gleiche Weiſe der Betrachtung der Waſſerwellen, der Erklärung der Erſcheinungen des Schalles, wie auch der Undulationstheorie des Lichtes zum Grunde gelegt werden können. Im zweiten Theile ſchien es paſſend die Abſchnitte vom Magnetismus und von der Elektricität jener vom Lichte und von der Wärme vorangehen zu laſſen. Abgeſehen von dem beſſeren Zuſammenhange, der dadurch in die Wärmelehre gebracht wird, welche ſeit Melloni's Arbeiten der Kenntniß der Elektricitätslehre nicht entbehren kann, haben die Lehrer der Phyſik an unſeren Univerſitäten und Lyceen bei der neuen Ordnung nicht mehr mit den Schwierigkeiten zu kämpfen, welche vordem die veränderliche Witterung des Frühjahres den wichtigſten optiſchen Verſuchen in den Weg legte. Sämmtliche vier Abſchnitte erſcheinen radikal umgearbeitet; in die Lehre vom Magnetismus ſind die Principien der Arbeiten von Gauß aufgenommen, die Lichtlehre wurde direct aus der Undulationstheorie entwickelt, der Vortrag der Wärmelehre erhielt durch die wichtigen neuen Funde auf dieſem Gebiete eine veränderte Geſtalt und gewichtige Zuſätze. Am meiſten war die Gährung, in der die Wiſſenſchaft ſich befindet, und die Schwierigkeit allen Anforderungen zu genügen, bei der Bearbeitung der Elektricitätslehre fühlbar. Die ſchöne Anwendung, welche Poggendorff von dem Ohm'ſchen Geſetze auf die Theorie der zuſammengeſetzten Säule machte, kam uns erſt zu Geſichte als die von der Elektricität handelnden Bogen bereits abgedruckt waren; wir halten dieſelbe für zu wichtig, um ihr nicht noch einen Platz in einem Nachtrage zu widmen, den wir am Ende des Buches folgen laſſen, um ſo dem Leſer die Wiſſenſchaft, ſo weit es in unſeren Kräften ſteht, in dem neueſten Zuſtande zu übergeben. Bei der Reichhaltigkeit des Materiales hat das Volum der beiden erſten Theile ſelbſt bei dem angewandten compreſſen Drucke ſo zugenommen, daß um dem Buche keine allzu große

Ausdehnung zu geben, der dritte Theil möglichſt zuſammen gezogen werden mußte, was ſich übrigens, ohne der Sache ſelbſt Abbruch zu thun, bewerkſtelligen ließ. Dennoch iſt die Seitenzahl auf 900 angewachſen. Die Herausgeber beſorgen aber nicht, daß man ihnen dieß zum Vorwurfe machen werde, ſie glaubten vielmehr gerade dadurch ſich Anſprüche auf Anerkennung zu erwerben, daß ſie darnach ſtrebten, ihr Buch fähig zu machen, den Freunden der Naturlehre dieſe Wiſſenſchaft ſo darzubieten, wie es der gegenwärtige Zuſtand derſelben erfordert, alſo ſeinen Einfluß auch über die Schule hinaus zu führen, für die es wohl zunächſt aber nicht ausſchließend beſtimmt iſt. Dem geübten Lehrer, der zugleich die Wiſſenſchaft und das Bedürfniß der Schule kennt, wird es ein leichtes ſeyn, dasjenige wegzulaſſen, was ihm mehr zur weiteren Ausbildung fähigerer Köpfe, oder zum Nachſchlagen, als zum erſten Unterrichte beſtimmt zu ſeyn ſcheint.

Wien, im Juni 1842.

Inhalt.

Erſter Theil.

Von den wägbaren Stoffen.

Seite

Einleitung 3

Erſter Abſchnitt. Von Körpern überhaupt.

Erſtes Kapitel. Allgemeine Eigenſchaften der Körper . . 11
Zweites Kapitel. Materielle Verſchiedenheit der Körper . 41

Zweiter Abſchnitt. Gleichgewicht der Kräfte.

Erſtes Kapitel. * Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte 90
Zweites Kapitel. * Theorie der Schwere und Gleichgewicht feſter ſchwerer Körper 102
Drittes Kapitel. * Gleichgewicht der Kräfte an Maſchinen . 108
Viertes Kapitel. Gleichgewicht der Theile feſter Körper unter einander.
A. Kryſtalliſation der Körper 118
B. Art der Verbindung der Theile feſter Körper . . 127
Fünftes Kapitel. Gleichgewicht der Kräfte an tropfbaren Körpern
A. Ueber Flüſſigkeiten überhaupt, über tropfbare insbeſondere 133
B. * Geſetze des Gleichgewichtes tropfbarer Körper, ohne Rückſicht auf Molecularkräfte 138
C. * Hydroſtatiſche Beſtimmung der ſpecifiſchen Gewichte und der Dichten feſter und tropfbarer Körper . . . 146
D. * Geſetze des Gleichgewichtes tropfbarer Körper mit Rückſicht auf Molecularkräfte 153
Sechstes Kapitel. Gleichgewicht der Kräfte an ausdehnſamen Körpern.
A. Ausdehnſamkeit der Gaſe 165
B. Schwere, ſpecifiſches Gewicht und Dichte der Gaſe . 186
C. Gleichgewicht der Gaſe 189
D. Gleichgewicht der Dünſte 204

Dritter Abſchnitt Bewegung der Körper.

Erſtes Kapitel. Allgemeine Bewegungsgeſetze, die der feſten Körper insbeſondere.
A. * Zuſammenſetzung und Zerlegung der Bewegungen . . 221
B. * Bewegungen durch die Schwerkraft 223

Seite

C. * Centralbewegung 237
D. * Stoß der Körper 243
Zweites Kapitel. * Hinderniſſe der Bewegung und ihre Wirkungen 248
Drittes Kapitel. * Bewegungsgeſetze tropfbar flüſſiger Körper 253
Viertes Kapitel. * Bewegungsgeſetze ausdehnſamer Körper . 259
Fünftes Kapitel. Wellenbewegung im Allgemeinen und Geſetze des Schalles insbeſondere.
A. Fortſchreitende Schwingung 263
B. Meſſung der Tonhöhen 286
C. Stehende Schwingungen der Körper 291
D. Nähere Betrachtung des Schalles als ſolchen . . . 319

Zweiter Theil.

Von den unwägbaren Stoffen.

Erſter Abſchnitt. Magnetismus.

Erſtes Kapitel. Allgemein magnetiſche Erſcheinungen . . 335
Zweites Kapitel. Erzeugung künſtlicher Magnete . . . 341
Drittes Kapitel. Geſetze der Wirkungen magnetiſcher Kräfte 348
Viertes Kapitel Nähere Betrachtung des Erdmagnetismus 366

Zweiter Abſchnitt. Elektricität.

Erſtes Kapitel. Erſcheinungen der elektriſchen Spannung überhaupt.
A. Arten der Elektricität und Kennzeichen derſelben . . 380
B. Erregung elektriſcher Spannung durch Induction . . 388
C. Theoretiſche Anſicht der Phänomene der elektriſchen Spannung 394
Zweites Kapitel. Elektriſirmaſchine und auf elektriſcher Spannung beruhende Apparate 401
Drittes Kapitel. Galvanismus, mit beſonderer Rückſicht auf die Geſetze des elektriſchen Stromes
A. Fundamentalverſuche und Volta'ſche Kette 415
B. Elektromagnetismus und elektrodynamiſche Anziehung und Abſtoßung 435
C. Chemiſche Wirkungen des elektriſchen Stromes . . 454
Viertes Kapitel. Inducirte elektriſche Ströme . . . 469
Fünftes Kapitel. Thermoelektricität 482
Sechstes Kapitel. Hinderniſſe des elektriſchen Stromes . 488
Siebentes Kapitel. Nähere Erörterung der Mittel Elektricität zu erregen 493

Dritter Abſchnitt. Licht.

Erſtes Kapitel. Erſcheinungen des Lichtes überhaupt . . 508
Zweites Kapitel. Beugung des Lichtes 522

Seite
Drittes Kapitel. Reflexion des Lichtes 536
Viertes Kapitel. Gewöhnliche Brechung des Lichtes . . 548
Fünftes Kapitel. Doppelte Brechung des Lichtes . . . 571
Sechstes Kapitel. Polariſation des Lichtes 581
Siebentes Kapitel. Farben dünner Plättchen 607
Achtes Kapitel. Erleuchtung und Abſorption des Lichtes . 613
Neuntes Kapitel. Das Auge und das Sehen . . . 622
Zehntes Kapitel. Optiſche Inſtrumente 635
Elftes Kapitel. Chemiſche Wirkungen des Lichtes . . 655

Vierter Abſchnitt. Wärme.

Erſtes Kapitel. Von der Wärme überhaupt 661
Zweites Kapitel. Wärmecapacität und ſpecifiſche Wärme . 662
Drittes Kapitel. Bewegungsgeſetze der Wärme.
A. Geſetze der ſtrahlenden Wärme 671
B. Geſetze der geleiteten Wärme 681
Viertes Kapitel. Wirkungen der Wärme.
A. Ausdehnung der Körper durch die Wärme 687
B. Aenderung des Aggregationszuſtandes durch die Wärme . 692
C. Anwendungen des Dampfes 701
Fünftes Kapitel. Quellen der Wärme 708
Sechstes Kapitel. Ueber Verbrennen 719
Siebentes Kapitel. Theoretiſche Anſicht der Wärmephänomene 729

Dritter Theil.

Naturerſcheinungen im Großen.

Einleitung 735

Erſter Abſchnitt Phyſiſche Aſtronomie.

Erſtes Kapitel. * Himmelskörper überhaupt 736
Zweites Kapitel. * Tägliche Bewegung der Himmelsſphäre 737
Drittes Kapitel. * Geſtalt und Größe der Erde und ihre Axendrehung 741
Viertes Kapitel * Scheinbare Bewegung der Sonne und jährliche Bewegung der Erde 748
Fünftes Kapitel. * Ergebniſſe aus der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde 751
Sechstes Kapitel. Die Planeten und ihre Bewegung um die Sonne 756
Siebentes Kapitel. * Bewegung der Nebenplaneten und Finſterniſſe 761
Achtes Kapitel. Die Kometen und ihre Bewegung . . 764
Neuntes Kapitel. * Nähere Betrachtung der Sonne und der Planeten 765
Zehntes Kapitel. * Urſache der Planetenbewegungen . . 770
Eilftes Kapitel. * Fixſterne. Größe des Weltalls . . 774

Seite

Zweiter Abſchnitt. Phyſiſche Geographie.

Erſtes Kapitel. Beſchaffenheit der Erde im Allgemeinen . 778
Zweites Kapitel. Gewäſſer der Erde 780
Drittes Kapitel. 794
Viertes Kapitel. Veränderungen der Erde 803

Dritter Abſchnitt. Meteorologie.

Erſtes Kapitel. Von der Atmoſphäre und ihren Veränderungen überhaupt 814
Zweites Kapitel. Wärmeverhältniſſe auf der Erde und in der Atmoſphäre 817
Drittes Kapitel. Veränderungen im Drucke der Luft- und Dunſtatmoſphäre 834
Viertes Kapitel. Luftſtrömungen 840
Fünftes Kapitel. Feuchtigkeitszuſtand der Atmoſphäre und Waſſermeteore 847
Sechstes Kapitel. Elektrometeore 857
Siebentes Kapitel. Lichtmeteore 864
Achtes Kapitel. Feuermeteore 874
Neuntes Kapitel. Einiges über Wetteranzeigen . . . 876

Zuſätze zum dritten Kapitel der Elektricitätslehre 885

Anmerkung. Die mit Sternchen (*) bezeichneten Kapitel fallen bei kleinen Lehranſtalten, laut §. 32 des Studienplanes, in das Gebiet des Profeſſors der Mathematik.

Naturlehre.

Erſter Theil.

Von den wägbaren Stoffen.

Einleitung.

1. Es iſt eine unläugbare Thatſache des Bewußtſeyns, daß wir Vorſtellungen haben, zu welchen wir auf dem Wege ſinnlicher Wahrnehmung gelangen. Alles, was ſinnlich wahrgenommen wird, nennen wir im Allgemeinen *Erſcheinung* oder *Phänomen*. Sinnliche Wahrnehmungen, beſonders jene, welche der Taſtſinn vermittelt, nöthigen uns, etwas im Raume Exiſtirendes und denſelben Erfüllendes anzunehmen, was den Erſcheinungen zum Grunde liegt. Wir bezeichnen es mit dem Worte *Materie*. Mit der Erfüllung des Raumes iſt *Ausdehnung* nothwendig verbunden. Materie von begrenzter Ausdehnung nennen wir *Körper*, und den Inbegriff der Körper *Natur* in materieller Bedeutung, wohl auch *Sinnenwelt*, *Körperwelt*.

In formeller Bedeutung bezeichnet das Wort Natur das innere Princip alles deſſen, was zum Daſeyn eines Dinges gehört. In dieſem Sinne wird es genommen, wenn man z. B. von der Natur des Waſſers, des Goldes u. ſ. w. ſpricht.

2. Die Betrachtung der Natur eröffnet uns eine Quelle von Erkenntniſſen, deren Inbegriff *Naturkunde*, dies Wort im weiteſten Sinne genommen, genannt werden kann. Aber nur diejenigen Erkenntniſſe ſind gleichartig, welche der aus einerlei Standpunct unternommenen Naturbetrachtung entſprechen, und nur dieſe können, in ſyſtematiſche Verbindung gebracht, eine Wiſſenſchaft darſtellen. Es finden demnach eben ſo viele verſchiedene Naturwiſſenſchaften Statt, als es Geſichtspuncte gibt, von denen man bei der Naturforſchung ausgeht. Bei dem allgemeinſten Ueberblicke ergeben ſich uns zunächſt zwei verſchiedene Betrachtungsweiſen der Natur. Wir finden nämlich in ihr keinen weiteren Gegenſtand der Forſchung, als die Körper, deren Inbegriff ſie iſt, und die durch die Körper dargebotenen Erſcheinungen. Letztere ſind theils Eigenſchaften der Körper, theils Veränderungen, die durch wechſelweiſes Aufeinanderwirken derſelben in der Sinnenwelt vor ſich gehen. Es kann nun die Abſicht der Forſchung entweder auf die Körper ſelbſt gerichtet ſeyn, und die Geſammtheit der Erſcheinungen, welche ſie uns darbieten, nur in ſo weit in Erwägung kommen, als ſich die Körper durch dieſelben von einander unterſcheiden, mithin dadurch beſtimmt werden; oder es ſind gerade die Erſcheinungen in der Körperwelt das eigentliche Object der Unterſuchung, und die Körper kommen nur in ſo weit in Betrachtung, als ſie die Träger dieſer

Erſcheinungen ſind. Im erſten Falle handelt es ſich um die Formen der Körper, und um den Zuſammenhang dieſer Formen nach dem Principe der Aehnlichkeit; im zweiten hingegen um die Geſetze und gegenſeitige Abhängigkeit der Erſcheinungen in der Sinnenwelt nach dem Principe der Cauſalität. Hiedurch erhalten zwei Naturwiſſenſchaften ihr Daſeyn, nämlich die Naturgeſchichte, welche die Kenntniß der Naturdinge in ihrem urſprünglichen Zuſtande nach ihrer Aehnlichkeit, und die Naturlehre, in weiterer Bedeutung des Wortes, welche die Kenntniß der Naturerſcheinungen in ihrem Cauſalnexus zum Gegenſtande hat.

3. Die Grundlage der Naturlehre iſt die Erfahrung, deren Ergebniſſe wir nach den Geſetzen unſeres Verſtandes auffaſſen und verarbeiten. Der Umfang unſerer Naturerkenntniß erweitert ſich nur allmälig durch Entdeckung neuer Thatſachen, oder durch Enthüllung eines noch unbeachtet gebliebenen Zuſammenhanges unter denſelben. Schon die bloße Kenntniß des Stattfindens einer Naturerſcheinung iſt anziehend und wichtig. Der Nutzen, den wir daraus ziehen können, ſteigt aber bedeutend, wenn es gelungen iſt, die Geſetze auszumitteln, nach denen die Erſcheinung ſich richtet. Das höchſte Intereſſe endlich wird erreicht, wenn wir im Stande ſind, die Urſache eines Phänomens nachzuweiſen, oder wie die Naturforſcher zu ſagen pflegen, das Phänomen zu erklären. Mit der Kenntniß der Geſetze und der Urſachen der Erſcheinungen iſt die Unterſuchung derſelben vollſtändig abgeſchloſſen, denn es kommen hier keine anderen Fragen in Betrachtung, als wie jede Erſcheinung erfolgt und warum ſie erfolgt.

Wiewohl es keinem Zweifel unterworfen iſt, daß wir nur durch Erfahrung zur Kenntniß der Körperwelt gelangen, ſo ſtammt doch nicht unſere geſammte Kenntniß derſelben aus der Erfahrung. Es trägt nämlich dieſe Kenntniß immer das Gepräge des anſchauenden und denkenden Subjectes an ſich, da wir Dinge außer uns nur der, allen Menſchen gemeinſchaftlichen Form der Sinnlichkeit gemäß anſchauen, und über ſo gewonnene Anſchauungen nur nach Regeln denken können, die in der Natur unſeres Verſtandes gegründet ſind. Kennen wir die Geſetze unſeres Denk- und Anſchauungsvermögens, ſo ſind wir im Stande, den a priori, d. i. unabhängig von der Erfahrung beſtehenden Theil unſerer naturwiſſenſchaftlichen Erkenntniß von dem empiriſchen, d. i. lediglich durch Erfahrung gegebenen zu ſondern. Der erſtere macht die reine Naturlehre aus, im Gegenſatze mit der Erfahrungsnaturlehre, deren Quelle ſinnliche Wahrnehmungen ſind. Daß zur umfaſſenden Naturkenntniß bloße reine Naturlehre nicht hinreicht, fällt in die Augen; aber auch die Erfahrungsnaturlehre für ſich allein genügt nicht, weil zur richtigen Anwendung der Erfahrungsſätze Principien a priori nöthig ſind, und weil bloße Erfahrung keine ſtrenge Allgemeinheit, mithin keine wiſſenſchaftliche Feſtigkeit gewährt. Es iſt daher nöthig, beide Theile der Naturlehre in Verbindung zu behandeln. Bei dem Lehrvortrage zeigt ſich eine ängſtliche Scheidung deſſen, was dem einen oder dem anderen angehört, minder paſſend, weßhalb vorliegendes Werk darauf nicht eingeht.

4. Um Naturerſcheinungen gewahr zu werden, und noch mehr um die Geſetze zu entdecken, woran ſie gebunden ſind, iſt es unerläß-

lich, allen Vorgängen in der Natur die größte Aufmerkſamkeit zu widmen. Die aufmerkſame Betrachtung eines Phänomens heißt Beobachtung. Wiewohl ununterbrochen Erſcheinungen vor ſich gehen, bei denen ſich die Natur in ihrer freien, von unſerem Zuthun ganz unabhängigen Wirkſamkeit äußert; ſo ſind wir doch gezwungen, theils um noch unbekannte Erſcheinungen gewahr zu werden, theils um die bereits bekannten unter möglichſt abgeänderten Umſtänden betrachten zu können, ihr Auftreten ſelbſt zu veranlaſſen. Man nennt die abſichtliche Herbeiführung einer Erſcheinung einen Verſuch oder ein Experiment. Die Anſtellung zweckmäßig angeordneter Verſuche iſt das ſicherſte Mittel, die Wirkſamkeit der Natur von allen Seiten kennen zu lernen, und den Geſetzen wie auch dem Zuſammenhange der Erſcheinungen auf die Spur zu kommen. Bei dem Unterrichte in der Naturlehre ſind ſie als Beweismittel für die Richtigkeit der aufgeſtellten Behauptungen gleichfalls unentbehrlich.

5. Sowohl zur Anſtellung mancher Beobachtungen als auch zu Verſuchen braucht man Inſtrumente, deren Zweck, Beſtandtheile und Grenzen der Richtigkeit der Naturforſcher genau kennen muß, beſonders, wenn er ſie nicht bloß dazu braucht, das Stattfinden gewiſſer Erſcheinungen nachzuweiſen, ſondern ſie der Größe nach zu beſtimmen, und den Einfluß jedes darauf Bezug habenden Nebenumſtandes anzugeben. Es iſt klar, daß dazu eine, nicht Jedermann eigene Geſchicklichkeit, viel Uebung und ein beſonderer Scharfblick gehört.

Indeß erhält der geſchickteſte Beobachter mit den beſten Inſtrumenten doch nie vollkommen fehlerfreie Reſultate, und es bleibt, um der Wahrheit möglichſt nahe zu kommen, nichts übrig, als die Operation oft genug zu wiederholen, und aus allen Reſultaten dasjenige zu ſuchen, welches mit dem geringſten Fehler behaftet iſt. Dahin gelangt man mittelſt einer beſondern Rechnungsmethode, die einen Theil der Wahrſcheinlichkeitsrechnung ausmacht. (Siehe: Die Wahrſcheinlichkeitsrechnung in ihrer Anwendung auf das wiſſenſchaftliche und praktiſche Leben, von J. J. Littrow. Wien 1833. Lehrbuch der Wahrſcheinlichkeitsrechnung und deren wichtigſten Anwendungen, von F. S. Poiſſon. Braunſchweig 1841 (aus dem Franzöſ. von Schnuſe). *A Preliminary discourse on the study of natural philosophy by J. F. W. Herschel. London 1830. Senebier l'art d'observer. Genève 1775.* Deutſch: Leipzig 1776. *Nollet l'art des expériences. Paris 1770.* Deutſch: Leipzig 1771.)

6. Das Verfahren, wodurch wir die Geſetze der Erſcheinungen in ihrem Hergange erkennen, gründet ſich auf die Annahme, daß eine Regel, die ſich in einer gewiſſen Anzahl willkürlich gewählter Fälle beſtätigt, allgemeine Gültigkeit habe, mithin in der Einrichtung der Natur ſelbſt beſtehe. Man nennt dieſes Verfahren die Induction. Es gewährt zwar an ſich keine abſolute oder mathematiſche Gewißheit, die Wahrſcheinlichkeit ſeiner Ergebniſſe erreicht aber meiſtens einen ſo hohen Grad, daß wir ſelbe der Gewißheit ohne Bedenken völlig gleich ſetzen.

Durch zweckmäßig angeſtellte Verſuche findet man, daß der Druck, den atmoſphäriſche Luft gegen die Wände des Gefäßes, in welchem ſie

eingeſchloſſen iſt, ausübt, auf das Doppelte, Dreifache u. ſ. w. ſteigt, wenn man ohne Aenderung des Wärmegrades den Raum deſſelben Luftquantums auf die Hälfte, das Drittel u. ſ. w. herabſetzt. Auf die einfache Regelmäßigkeit bauend, die in der Einrichtung der Natur allenthalben hervortritt, ſchließt der Naturforſcher aus einer geringen Anzahl gut harmonirender Beobachtungen dieſer Art, daß, wenigſtens innerhalb der Grenzen unſerer Erfahrung, das Beſtreben der atmoſphäriſchen Luft ſich auszudehnen, bei einerlei Temperatur mit dem Raume, in den ſie eingeſchloſſen iſt, im verkehrten Verhältniſſe ſtehe. Da ſich ein Gleiches auch bei anderen Luftarten zeigt, ſo ſehen wir dieſes Geſetz als eine nothwendige Folge des luftförmigen Zuſtandes an, und betrachten ſelbſt Abweichungen davon in gewiſſen beſonderen Fällen als das Reſultat der beginnenden Störung dieſes Zuſtandes.

7. Wenn wir den Urſachen der Erſcheinungen nachſpüren, finden wir in vielen Fällen das Auftreten einer Erſcheinung durch das Vorhandenſeyn einer anderen bedingt, die ſelbſt wieder ihren Grund in dem Daſeyn einer ſinnlich wahrnehmbaren Urſache hat. Auf dieſe Weiſe ſtellt ſich uns, indem wir von einem beſtimmten Phänomen ausgehend, ſtets für das, was wir als Wirkung irgend eines ſinnlichen Grundes anzunehmen genöthiget ſind, die Angabe deſſelben fordern, eine Reihe von Phänomenen dar, die gliedweiſe unter einander in der Beziehung von Wirkung und Urſache ſtehen. Eine ſolche Reihe kann aber in der Richtung des Aufſteigens von Wirkung zur Urſache auf dem Felde der ſinnlichen Wahrnehmung offenbar nicht in das Unendliche fortgehen, ſondern wird durch ein Phänomen geſchloſſen, dem keine durch die Sinne erkennbare Urſache entſpricht. Werden wir nun bei einem ſolchen ſtufenweiſen Erklären von Phänomenen endlich auf eine Erſcheinung geführt, für welche wir keinen ſinnenfälligen Grund mit voller Gewißheit nachzuweiſen vermögen, ſo kommt es darauf an, ob ſich uns dieſe Erſcheinung als eine ſo einfache darſtellt, daß wir uns zu der Annahme berechtigt finden, es entſpreche ihr wirklich gar keine ſinnlich wahrnehmbare Urſache, oder ob wir das Vorhandenſeyn einer ſolchen Urſache vorausſetzen. In dem erſten Falle betrachten wir das Stattfinden einer ſolchen unerklärbaren Erſcheinung als eine urſprüngliche, in dem Weſen der Natur liegende Einrichtung, und das Geſetz, welches ſich in ihrem Hergange zeigt, als ein oberſtes oder Fundamental-Naturgeſetz, und bezeichnen die nichtſinnliche Urſache derſelben mit dem Worte Kraft. In dem anderen Falle hingegen nehmen wir zu einer Vermuthung über den ſinnlichen Grund der Erſcheinung, d. i. zu einer ſogenannten Hypotheſe, unſere Zuflucht, wir ſetzen nämlich einen dem gewöhnlichen Gange der Natur gemäßen Grund voraus, und verſuchen, ob ſich die Erſcheinung daraus erklären läßt. In der hypothetiſchen Erklärung der Erſcheinungen weichen die Naturforſcher nicht ſelten von einander ab, indem ſie den Gründen, die für dieſe oder für jene Meinung ſprechen, verſchiedenes Gewicht beilegen.

Ein mit erwärmter Luft gefüllter Luftballon ſteigt in die Höhe, weil ihn die atmoſphäriſche Luft ſtärker in die Höhe drückt, als er durch ſein Gewicht zu fallen ſucht; jener Druck iſt aber ſtärker als dieſes

Gewicht, weil warme Luft ſpecifiſch leichter iſt, als kältere; jene iſt leichter als dieſe, weil ſie dünner iſt; ſie iſt dünner, weil die Wärme eine ausdehnende Kraft beſitzt, die wir eben ſo wenig weiter zu erklären vermögen als die Schwere der Luft und anderer Körper. Wir betrachten ſelbe als in der urſprünglichen Einrichtung der Natur gegründet, und wagen nicht einmal über deren Urſache eine Vermuthung. Die mannigfaltigen Erſcheinungen des Sehens ſind von der Art, daß wir, zumal wenn wir das berückſichtigen, was wir über die objective Urſache der übrigen ſinnlichen Wahrnehmungen mit Beſtimmtheit wiſſen, uns nicht erwehren können, denſelben einen materiellen Grund unterzulegen. Die meiſten Naturforſcher nehmen gegenwärtig zur Erklärung derſelben die Exiſtenz eines eigenen ätheriſchen Stoffes an, deſſen durch die leuchtenden Körper erregte ſchwingende Bewegung von unſerem Auge auf ähnliche Weiſe als Licht empfunden wird, wie unſer Gehörorgan die durch tönende Körper hervorgebrachten Schwingungen der Luft als Schall wahrnimmt. Früher hatte die Annahme eines eigenen Lichtſtoffes die Oberhand, den man von den leuchtenden Körpern ausgehen und in unſer Auge eindringen ließ, ſo daß nach dieſer Anſicht der Geſichtsſinn auf ähnliche Weiſe afficirt wird, wie der Geruchsſinn, von dem erwieſen iſt, daß er durch feine Ausflüſſe aus den Körpern angeregt wird. Von den Vorausſetzungen, die man über die Natur der Wärme, der Elektricität, des Magnetismus macht, wird in der Folge ausführlich die Rede ſeyn.

8. Die Erſcheinungen, welchen wir unmittelbar Kräfte zum Grunde legen müſſen, ſind ſo mannigfaltig, daß wir, wenigſtens vor der Hand, nicht alle derſelben aus einer einzigen Quelle abzuleiten vermögen. Wir nehmen deßhalb für jede zuſammengehörige Reihe von Erſcheinungen, die wir nicht weiter erklären können, eine beſondere Kraft an, und benennen ſie nach der letzten dadurch zu erklärenden Erſcheinung. So ſpricht man von einer Schwerkraft, von einer Adhäſionskraft, von einer Lebenskraft u. dgl., um dadurch den letzten Grund der Schwere, der Adhäſion, des Lebens organiſirter Weſen u. dgl. zu bezeichnen.

Wiewohl es keinem Zweifel unterworfen iſt, daß es Naturkräfte geben muß, weil die Erſcheinungen der Körperwelt doch irgend einen letzten, im Weſen der Natur liegenden Grund haben; ſo ſind doch die meiſten, vielleicht alle bis jetzt angenommenen Naturkräfte, insbeſondere betrachtet, nichts als Hypotheſen. Denn es iſt nicht erwieſen, daß Erſcheinungen, welche jetzt für die letzten gehalten werden, nicht doch eine empiriſche Quelle haben. Ja ſelbſt welche von mehreren in gegenſeitiger Abhängigkeit ſtehenden Erſcheinungen die letzte iſt, kann ungewiß ſeyn, wozu unter andern die Lehre vom Zuſammenhange der magnetiſchen und elektriſchen Erſcheinungen in ihrem jetzigen Zuſtande merkwürdige Belege liefert.

9. Wenn eine Hypotheſe die Erſcheinungen leicht, einfach, ohne Umſchweife und Hilfshypotheſen erklärt und keiner anerkannten Wahrheit widerſpricht, vielmehr durch Analogie ihrer Sätze mit bereits als richtig erwieſenen ſich empfiehlt; ſo kann ſie ſo lange dem wahren Grunde ſubſtituirt werden, als dieſer noch verborgen iſt. Als wahre Urſache kann eine ſolche Vorausſetzung erſt dann gelten, wenn ſie entweder als Erſcheinung vorkommt, oder die Erſcheinungen nicht bloß

im Allgemeinen und der Qualität, ſondern auch der Quantität nach erklärt, mithin, der Rechnung unterworfen, Reſultate gibt, die mit der Erfahrung übereinſtimmen, oder endlich, wenn bewieſen iſt, daß die Erſcheinungen in ihrem Zuſammenhange nicht anders erklärt werden können.

Die Annahme eines von leuchtenden Körpern ausſtrahlenden Lichtſtoffes iſt keine glückliche Hypotheſe, denn ſie erklärt die Erſcheinungen nur mittelſt vieler Hilfshypotheſen; eben ſo verhält es ſich mit der Annahme negativ ſchwerer Körper, denn ſie widerſpricht der Erfahrung, welche lehrt, daß alles, deſſen Materialität erwieſen iſt, poſitiv ſchwer ſey. Die Luftelektricität war ſo lange ein bloß hypothetiſches Weſen, bis Franklin ihr Daſeyn factiſch nachwies; die elliptiſche Bewegung der Planeten um die Sonne iſt keine Hypotheſe mehr, weil ſich aus ihr, und nur aus ihr allein, alle dahin gehörenden Erſcheinungen der Größe nach genau ſo ergeben, wie ſie die Erfahrung nachweiſet.

10. Eine Hypotheſe, die man ſorgfältig braucht und bei der man nie vergißt, daß man es nicht mit einem bewieſenen Grunde zu thun hat, iſt für die Wiſſenſchaft von großem Nutzen, denn man kann mit ihrer Hilfe Erſcheinungen in einen Zuſammenhang bringen, die ſonſt als ein Chaos unüberſehbar wären, ja ſogar die Erklärung derſelben vorbereiten. Die Geſchichte der Naturlehre liefert mehrere Beiſpiele, welche dieſes beſtätigen.

Die hypothetiſche Vorausſetzung eines elektriſchen Fluidums gibt einen ſicheren Wegweiſer durch das ganze weitläufige Gebiet der elektriſchen Erſcheinungen ab; aus ihr hat man ſogar die Einrichtung der Blitzableiter erkannt, welche ſich bis jetzt noch immer als zweckmäßig bewährt hat.

11. Das letzte Ziel, wornach die Naturlehre ſtrebt, iſt alſo die Zurückführung aller Erſcheinungen in der Sinnenwelt auf gewiſſe oberſte Geſetze, über welche ſie nicht hinaus kann, aus denen aber ſämmtliche Naturgeſetze abgeleitet werden können, und die Erklärung eines Phänomens iſt nichts anderes, als die Durchführung einer ſolchen Ableitung. Je geringer die Anzahl der Grundgeſetze iſt, auf welche alle wahrnehmbaren Erſcheinungen reducirt werden können, deſto weiter iſt man in dem Gebiete der Naturlehre vorgedrungen. Die oberſten Naturgeſetze laſſen ſich meiſtens nicht unmittelbar durch Erfahrung nachweiſen, ſondern ergeben ſich nur mittelbar durch Schlüſſe aus Daten der Erfahrung, wobei beſonders die Hilfe der mathematiſchen Analyſis von größter Erheblichkeit iſt, welches bewunderungswürdige Werkzeug des menſchlichen Geiſtes, überall wo quantitative Beſtimmungen Platz finden, mit dem beſten Erfolge angewendet wird, um von dem Bedingten auf das Bedingende zu ſchließen. Erſt wenn die oberſten Naturgeſetze aufgeſtellt worden ſind, erhalten die untergeordneten vorläufig durch Induction ausgemittelten Geſetze ihre wahre Deutung und völlige Begründung.

Kepler hat durch mühſame Vergleichung einer großen Menge von Beobachtungen die nach ihm genannten Geſetze der Bewegung der Planeten um die Sonne entdeckt, aber erſt nachdem es dem Genie

Newton's gelungen war, in der gegenſeitigen Anziehung der Himmelskörper den Grund ihrer Bewegungserſcheinungen zu erkennen, erſchien Inhalt und Umfang der Keplerſchen Geſetze in dem wahren Lichte. Auf dem von Newton betretenen Wege war es ſogar möglich, die Attraction der Himmelskörper auf eine allgemeine Eigenſchaft aller Materie zurückzuführen, vermöge welcher je zwei kleinſte materielle Theilchen einander nach einem beſtimmten Geſetze anziehen. Eben ſo ſchließt man aus der Art, wie ein von Elektricität durchſtrömter Draht auf einen anderen oder auf eine Magnetnadel einwirkt, auf die Richtung und Größe der Kraft, mit welcher ein kleinſtes Theilchen eines elektriſchen Stromes ein anderes Stromtheilchen oder ein magnetiſches Element afficirt. Solche Schlüſſe beruhen bloß auf mathematiſchem Calcul, denn mit kleinſten Theilchen laſſen ſich keine Verſuche machen, es läßt ſich nicht einmal ein Theil eines elektriſchen Stromes für ſich allein darſtellen.

12. Es gibt ſo viele Körper und ſo mannigfaltige Erſcheinungen an denſelben, daß ein menſchlicher Geiſt nicht vermag ſie insgeſammt zu umfaſſen. Man iſt deßhalb genöthiget, bei der Bearbeitung der Naturlehre die Erſcheinungen, durch welche das Leben der organiſirten Weſen, des Menſchen, der Thiere und der Pflanzen ſich äußert, ihrer Eigenthümlichkeiten wegen, von denjenigen abzuſondern, welche die lebloſen Körper darbieten. Die Betrachtung der erſteren iſt der Gegenſtand einer beſonderen Wiſſenſchaft, welche Phyſiologie heißt, während das Studium der unorganiſchen Natur der Naturlehre im engeren Sinne des Wortes oder der ſogenannten Phyſik anheim fällt. Die Phyſik bahnt der Phyſiologie den Weg, daher geht bei dem wiſſenſchaftlichen Unterrichte jene dieſer voran.

13. Selbſt die Phyſik hat, obgleich ſie, einige wenige Beſtrebungen der älteren Zeit abgerechnet, ausſchließend das Werk der letzten Jahrhunderte iſt, durch das Zuſammenwirken geiſtreicher Männer eine bewunderungswürdige Ausdehnung erlangt, und ein Menſchenleben iſt jetzt nicht mehr hinreichend, die täglich ſich mehrenden Schätze des phyſikaliſchen Wiſſens vollſtändig zu überſehen. Deßhalb iſt man genöthigt, zum Behufe des Unterrichtes, die durch Faßlichkeit ſich auszeichnenden Hauptlehren unter der Benennung Elementarphyſik zuſammen zu faſſen, und hiedurch zum Studium der höheren Phyſik vorzubereiten. Die Elementarphyſik heißt insbeſondere Experimentalphyſik, wenn ſie die Richtigkeit ihrer Behauptungen mehr durch Hinweiſung auf Thatſachen, welche ſich an Experimenten vor Augen ſtellen, zu rechtfertigen ſucht, als durch Ableitungen der Geſetze der Erſcheinungen aus den erſten Gründen mittelſt mathematiſcher Deductionen, im Gegenſatze mit der theoretiſchen Phyſik, welche der mathematiſchen Methode ſich bedient. Auch werden, der Reichhaltigkeit des Materials wegen, einzelne Zweige der Naturlehre als für ſich beſtehende Wiſſenſchaften bearbeitet. Hierauf gründet ſich die Zerfällung der Naturlehre in die mechaniſche, welche es mit den räumlichen Veränderungen der Körper, die in ihrer Allgemeinheit aufgefaßt nichts als Bewegungen ſind, zu thun hat, und in die chemiſche Naturlehre oder Chemie, welche von den Veränderungen der inne-

ren materiellen Beſchaffenheit handelt. Aber auch einzelne Partien der mechaniſchen Naturlehre laſſen ſich als beſondere Wiſſenſchaften darſtellen, dergleichen die Mechanik, Optik, Aſtronomie u. ſ. w. ſind. Daß eine abſolute Trennung dieſer Wiſſenſchaften im Vortrage nicht möglich ſey, iſt klar. Im vorliegenden Werke, welches den Anfangsgründen der theoretiſchen Phyſik gewidmet iſt, wird das Weſentlichſte aller hier genannten Wiſſenſchaften vorgetragen, und es hat zur Aufgabe, die allgemeinen Veränderungen der unorganiſchen Körperwelt zu erklären und ihre Geſetze nachzuweiſen.

14. Der Nutzen, den die Naturlehre dem Menſchen als Mitglied eines Staates oder als moraliſchem Weſen verſchafft, iſt ſo groß, daß er hier nur kurz angedeutet, keineswegs erſchöpfend aus einander geſetzt werden kann. Alle techniſchen Gewerbe ſind ihrer Vollkommenheit deſto näher, je mehr das bei ihrer Ausübung gebräuchliche Verfahren auf den Naturgeſetzen beruht, mit deren Entwicklung ſich die Phyſik beſchäftiget; der Ackerbau bedarf derſelben Geſetze, um ſeine Producte nachhaltig zu gewinnen und ſeine Kräfte zweckmäßig anzuwenden; der Handel zu Waſſer und zu Lande nimmt die Naturlehre in Anſpruch, und dieſelbe Wiſſenſchaft iſt es, welche die Waffe ſchmieden und führen lehrt, die den Feind des Vaterlandes im Zaume hält. Nicht kleiner iſt der moraliſche Nutzen der Naturlehre: Sie iſt die Lehrerin der Klugheit, indem ſie die Erfolge mancher Ereigniſſe vorausſehen lehrt; ſie predigt Demuth und Beſcheidenheit, indem ſie uns die Größe und Herrlichkeit der Natur und die Unmöglichkeit ſie ganz zu begreifen darſtellt; ſie zeigt aber auch die Größe des menſchlichen Geiſtes von der ſchönſten Seite und flößt Vertrauen zu unſeren Kräften ein. Man kann mit vollem Rechte von der ganzen Phyſik das ſagen, was ein großer Genius der Deutſchen von einem ihrer Theile, der Sternkunde, ſagt: Daß ſie dem Menſchen ein erhabenes Herz gibt, und ein Auge, das über die Erde hinausreicht, und Flügel, die in die Unermeßlichkeit heben, und einen Gott, der nicht endlich, ſondern unendlich iſt.

Erſter Abſchnitt.

Von Körpern überhaupt.

Erſtes Kapitel.

Allgemeine Eigenſchaften der Körper.

15. Wenn wir unſere Aufmerkſamkeit auf die Eigenſchaften der Naturdinge richten, ſo finden wir, daß einige derſelben allen Körpern zukommen. Wir nennen ſie **allgemeine** Eigenſchaften derſelben. Sie ſind: **Ausdehnung**, **Undurchdringlichkeit**, **Beweglichkeit** und **Trägheit**, **Ausdehnbarkeit** und **Zuſammendrückbarkeit**, **Theilbarkeit**, **Poroſität**, **Molecular-Anziehung** und **Abſtoßung**, und **Schwere**.

16. Alles Körperliche exiſtirt für uns im Raume, iſt alſo **ausgedehnt**, und hat, weil es in ſeiner Ausdehnung begrenzt iſt, eine gewiſſe Form der Begrenzung, d. i. eine beſtimmte Geſtalt oder **Figur**. Denkt man ſich aus dem Raume, den ein Körper einnimmt, die Materie hinweg, ſo bleibt die Vorſtellung des ſogenannten leeren Raumes oder des geometriſchen Körpers übrig. Was die Geometrie von dieſem lehrt, bezieht ſich demnach auch auf den Raum eines phyſiſchen Körpers nach ſeiner Größe und Form, und auf die mit dieſem Raume zugleich gegebenen Flächen, Linien und Puncte. Der Raum, den ein Körper einnimmt, lediglich in Hinſicht auf ſeine Größe betrachtet, heißt deſſen **Rauminhalt** oder **Volum**. Man muß, um es nach den Vorſchriften der Geometrie meſſen und durch eine Zahl ausdrücken zu können, ein beſtimmtes Volum als Einheit annehmen.

Die ſchicklichſte Einheit zur Ausmeſſung der Rauminhalte der Körper gründet ſich auf die Einheit, mittelſt welcher die Längen gemeſſen werden, welche eine gerade Linie von feſtgeſetzter Länge iſt. Das Quadrat, deſſen Seite dieſer Längeneinheit gleich iſt, dient als Einheit der Flächen, und der Würfel, welcher die Längeneinheit zur Seite hat, als Einheit der Volume. Als Längeneinheit wird, um ſowohl allzu große Zahlen, wie auch allzu kleine Brüche zu vermeiden, nicht ſtets dieſelbe Länge angenommen, nur müſſen die verſchiedenen Längen, deren man ſich zu dieſem Behufe bedient, in beſtimmten Verhältniſſen ſtehen, damit man die Reſultate der Meſſung oder Rechnung nach einer dieſer Einheiten, wenn es nöthig iſt, in jene umſetzen kann, welche auf der Annahme einer andern Einheit beruhen. Ueberdieß iſt die lineare Einheit in verſchiedenen Ländern hinſichtlich der Größe, Eintheilung und Benennung der Theile und Vielfachen verſchieden.

Wir werden uns im Folgenden größtentheils des ſogenannten *Wiener Maßes* bedienen. Die Grundlage des Wiener Längenmaßes iſt die Klafter, ſie wird bekanntlich in ſechs gleiche Theile, Schuh oder Fuß genannt, eingetheilt. Der Fuß enthält 12 Zoll, der Zoll 12 Linien, die Linie 12 Punkte; häufig aber gibt man nur Decimaltheile der Klafter, des Schuhes, Zolles, der Linie an. Eine Wiener Elle iſt = 2,465 Fuß = 29,58 Zoll = 29 Zoll 6,96 Linie. 4000 Wiener Klafter machen eine öſterreichiſche Poſtmeile aus.

Die Grundlage des Flächenmaßes iſt die Quadratklafter, d. h. die Fläche eines Quadrates deſſen Seite eine Klafter beträgt. Die Quadratklafter faßt daher 6 × 6 = 36 Quadratfuß, der Quadratfuß 12 × 12 = 144 Quadratzoll, der Quadratzoll 144 Quadratlinien. Es kommen daher auf den Quadratfuß 144 × 144 = 20736 Quadratlinien, und auf die Quadratklafter 36 × 144 = 5184 Quadratzoll oder 5184 × 144 = 746496 Quadratlinien. Ein Joch Feldmaß hat 1600 Quadratklafter, oder iſt einem Quadrate von 40 Klafter Seite gleich.

Der Würfel, deſſen Seite eine Klafter iſt, heißt Kubikklafter, und enthält $6^3 = 216$ Kubikfuß, der Kubikfuß enthält $(12)^3 = 1728$ Kubikzoll, der Kubikzoll 1728 Kubiklinien. Es kommen alſo auf den Kubikfuß $(1728)^2 = 2985984$ Kubiklinien, und auf die Kubikklafter 216 × 1728 = 373248 Kubikzolle. Ein Wiener Eimer faßt 1,792 Kubikfuß, und enthält 40 Maß, jede zu 4 Seitel. Eine Maß enthält demnach 0,0448 Kubikfuß oder 77,4144 Kubikzoll; ein Kubikfuß 22,32 Maß. Ein Wiener Metzen beträgt 1,9471 Kubikfuß.

Nächſt der Kenntniß des Wiener Maßes iſt noch jene des in neueren Unterſuchungen häufig vorkommenden *neufranzöſiſchen* oder *metriſchen* Maßes unentbehrlich. Als Grundlage deſſelben dient der Meter (Mètre), deſſen Länge dem zehnmillionſten Theile des nördlichen Meridianquadranten der Erde gleichkommt. Der zehnte Theil des Meter heißt Decimeter, der hundertſte Centimeter, der tauſendſte Millimeter. Zehn Meter geben einen Dekameter, zehn Dekameter oder hundert Meter einen Hektometer, zehn Hektometer oder tauſend Meter den Kilometer, zehntauſend Meter den Myriameter. Bei allen übrigen Einheiten dieſes Maßes, welche als ſelbſtſtändige angeſehen und mit eigenen Namen belegt werden, findet dieſelbe Bezeichnung des zehnten, hundertſten, tauſendſten Theiles durch Vorſetzung der Sylben Deci, Centi, Milli, und der Zehnfachen, Hundertfachen, Tauſendfachen durch Vorſetzung der Sylben Deka, Hekto, Kilo Statt. Der Umſtand, daß ſämmtliche Eintheilungen und Vervielfältigungen dekadiſch fortſchreiten, erleichtert die Reduction höherer Einheiten auf niedrigere, und umgekehrt dieſer auf jene, ungemein. Das Quadrat, deſſen Seite 10 Meter faßt, wird unter der Benennung Are als Feldmaß gebraucht. Ein Hektare macht daher 10000 Quadratmeter aus. Der Kubikmeter heißt Stere, der Kubikdecimeter heißt Liter. Ein Kiloliter iſt folglich einem Kubikmeter gleich.

Zur Vergleichung des Wiener Maßes mit dem metriſchen und umgekehrt dienen folgende Angaben. Es iſt 1 Wiener Fuß = 0,3161023 Meter, folglich 1 Wiener Zoll = 0,0263418 Meter, 1 Wiener Linie = 2,195 Millimeter, und umgekehrt 1 Meter = 3,163532 Wien. Fuß = 3 Fuß 1 Zoll 11,549 Linien; 1 Decimeter = 3,79624 Wien. Zoll = 3 Zoll 9,5549 Linien; 1 Centimeter = 4,5555 Wien. Linien; 1 Millimeter = 0,4555 Wien. Linien. Ein Liter beträgt 54,7093 Wien. Kub. Zoll oder 2,827 Wien. Seitel.

Außer den oben genannten Maßen kommt noch das *altfranzöſiſche* oder *Pariſer* Maß vor. Die Eintheilung der Pariſer Toiſe iſt jener der Wiener Klafter ähnlich. Man verwandelt Pariſer Toiſen,

Fuß, Zoll, Linien in Wiener Klafter, Fuß, Zoll, Linien, wenn man die Anzahl erſterer mit 1,02764 multiplicirt. Umgekehrt wird Wiener Maß durch Multiplication mit 0,973103 in gleichnamiges Pariſer Maß umgeſetzt. Eine Toiſe iſt = 1,94904 Meter und ein Meter = 0,513074 Toiſen. Ein engliſcher Fuß enthält 0,3048 Meter, ein preußiſcher Fuß 0,3138 Meter, ein bayeriſcher Fuß 0,2919 Meter.

Zur Beſtimmung linearer Ausdehnungen bedient man ſich guter Maßſtäbe, die, um die Schärfe der Meſſung möglichſt weit zu treiben, mit einem Nonius oder Vernier verſehen ſind.

Nonius heißt eine, in gleiche Theile getheilte Linie, die ſich an einem Maßſtabe verſchieben läßt, und dazu dient, kleinere Theile zu meſſen, als unmittelbar am Maßſtabe ſelbſt mit Deutlichkeit erſichtlich gemacht werden könnten. Iſt a der Abſtand zweier unmittelbar auf einander folgenden Theilſtriche des Maßſtabes, und dieſer Abſtand in n gleiche Theile zu theilen, ſo erhält der Nonius entweder die Länge $(n+1)a$ oder $(n-1)a$, und wird in n gleiche Theile getheilt. Die Länge eines Noniustheiles iſt im erſten Falle $= \frac{(n+1)a}{n} = a + \frac{a}{n}$ und im zweiten $= \frac{(n-1)a}{n} = a - \frac{a}{n}$, mithin im erſten Falle um $\frac{a}{n}$, d. h. gerade um den Längentheil, welchen man bei der Meſſung mit dem Maßſtabe noch berückſichtigen will, größer, und im zweiten um eben ſo viel kleiner, als a, wornach der Abſtand zweier beliebigen Theilſtriche auf dem Nonius ſehr leicht in Theilen des Maßſtabes angegeben werden kann. Wird nun der Maßſtab ſammt Nonius an eine zu meſſende Linie dergeſtalt angelegt, daß der Anfangspunct des Maßſtabes mit dem einen Grenzpuncte, und einer der beiden äußerſten Theilſtriche des Nonius mit dem anderen Grenzpuncte dieſer Linie zuſammenfällt, ſo hat man nur darauf zu ſehen, welcher Theilſtrich des Nonius mit einem Theilſtriche des Maßſtabes ſo nahe zuſammenfällt, daß man den einen als die Verlängerung des anderen betrachten kann. Da man die Entfernung dieſes gemeinſchaftlichen Theilſtriches vom Anfangspuncte des Maßſtabes und von jedem der äußerſten Theilſtriche des Nonius kennt, ſo kann hieraus die Länge der zu meſſenden Linie leicht abgeleitet werden, und der Fehler der Meſſung wird nicht größer ſeyn als $\frac{a}{2n}$. Man kann ſich dabei ſtets ſo benehmen, daß dieſes Geſchäft auf einer einfachen Addition beruht, wie aus folgendem Beiſpiele zu erſehen iſt: Es ſeyen bei der Meſſung mit einem Maßſtabe, worauf Linien verzeichnet ſind, mittelſt des Nonius nach Zehntel einer Linie anzugeben, ſo kann die Länge des Nonius entweder 11 oder 9 Linien betragen, und dieſe Länge erſcheint auf dem Nonius in 10 gleiche Theile getheilt. Der Unterſchied zwiſchen einem Intervall des Maßſtabes und des Nonius iſt ſodann $^1/_{10}$ Linie. Wäre nun, vorausgeſetzt, daß die Länge des Nonius = 11 Linien angenommen worden, mittelſt eines ſo eingerichteten Maßſtabes die Linie AB (Fig. 1) zu meſſen, und fände man, daß, wenn man das Ende A mit dem Anfangspuncte des Maßſtabes ab zuſammenfallen läßt, das andere Ende B zwiſchen zwei Theilſtriche H und K des Maßſtabes fällt, ſo darf man nur den Nonius cd dahin verſchieben, daß ein Ende deſſelben, gleichviel ob c oder d, mit B zuſammenfällt. Trifft nun der erſte, zweite, dritte 2c. Theilſtrich des Nonius, nach der Richtung dc oder BA gezählt, in die Verlängerung eines Theilſtriches des Maßſtabes,

ſo iſt das durch den Nonius zu meſſende Stück HB = $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ ꝛc., alſo in dem Falle, den die Figur darſtellt, = $^2/_{10}$ einer Linie. Wollte man aber den Nonius cd nur 9 Linien lang nehmen, ſo wäre die Poſition des mit einem Theilſtriche des Maßſtabes harmonirenden Striches auf dem Nonius in der Richtung cd oder AB zu zählen, mithin bei der Bezifferung des Nonius die den Anfangspunct der Zählung anzeigende Nulle, nicht wie in der Figur an das Ende d, ſondern an c zu ſetzen. Es iſt klar, daß man auf ähnliche Weiſe auch Stücke von Kreisbögen mittelſt Nonien meſſen kann.

17. Die Erfahrung lehrt, daß die Figuren der Körper höchſt mannigfaltig und ſehr oft regelmäßig oder wenigſtens ſymmetriſch ſind, wie man an allen kryſtalliſirten Körpern des Mineralreiches und an unzähligen Producten der organiſchen Reiche, am Gewebe feiner Häute, an Schmetterlingsflügeln, Haaren vom Maulwurfe, Reh ꝛc. bemerkt, in welcher Beziehung mikroſkopiſche Beobachtungen beſonders lehrreich ſind, und häufig da die größte Ordnung erkennen laſſen, wo das unbewaffnete Auge keine Spur davon wahrnimmt. Manche Körper (die feſten) zeigen eine ſelbſtſtändige Geſtalt, andere hingegen (die flüſſigen) richten ſich immer nach dem Gefäße, deſſen ſie zu ihrer Aufnahme bedürfen.

18. Daß die für uns erkennbaren Körper einen Raum erfüllen, lehren uns die Wahrnehmungen, die wir mit Hilfe des Taſtſinnes machen. Das Organ erfährt nämlich, indem es in den der Materie eines Körpers angehörenden Raum einzudringen ſucht, einen Widerſtand, welcher eben die Empfindung vermittelt, die wir bei dem Betaſten haben. Dieſe Erfahrung iſt aber nur ein beſonderer Fall des allgemeinen Naturgeſetzes, daß zwei verſchiedene Körper oder Theile der Körper nicht zugleich in einem und demſelben Raume vorhanden ſeyn können, ſondern, wenn Materie in einen von Materie bereits erfüllten Raum wirklich eindringt, letztere daraus weichen muß. Unzählige der alltäglichſten Erfahrungen beſtätigen die Richtigkeit dieſes Geſetzes. Die Eigenſchaft der Materie, die durch daſſelbe ausgeſprochen wird, heißt die Undurchdringlichkeit.

Daher ſteigt das Waſſer in einem Gefäße, wenn man einen Stein hineinwirft; eine Flüſſigkeit läßt ſich nur in ein anderes Gefäß überfüllen, wenn die Luft daraus entweichen kann; in einem verſchloſſenen, luftdichten Cylinder läßt ſich der Kolben nie bis zum Boden hinabdrücken. Auf der Undurchdringlichkeit beruht der Unterſchied zwiſchen mathematiſchen und phyſiſchen Körpern, die Sperrbarkeit der Materie u. ſ. w. Jede Erſcheinung, welche die Anweſenheit eines Undurchdringlichen in einem Raume beurkundet, beweiſet zugleich die Exiſtenz eines materiellen Dinges. Jedoch iſt die Undurchdringlichkeit nicht der einzige Beweisgrund, welcher uns für die Materialität zu Gebote ſteht. In vielen Fällen läßt ſich die Undurchdringlichkeit durch unmittelbare Erfahrung gar nicht nachweiſen, z. B. an den Himmelskörpern, an deren Materialität wir jedoch, da ſie ſich durch andere Erſcheinungen kund gibt, nicht im Geringſten zweifeln, und welchen wir dem zufolge auch Undurchdringlichkeit zuſchreiben.

19. Alle für unſere Sinne wahrnehmbaren Veränderungen in der Natur laſſen ſich darauf zurückführen, daß Körper oder Körper-

theile ihre Orte verlaſſen und in andere Orte übergehen, d. h. ſich bewegen. Man rechnet darum die Beweglichkeit zu den allgemeinen Eigenſchaften der Körper.

20. Da jeder Ort ein abſoluter oder relativer iſt, je nachdem er auf den abſoluten unbegrenzten Raum oder auf einen begrenzten Theil deſſelben bezogen wird; ſo kann auch jede Bewegung, wie auch das Verharren in demſelben Orte oder die Ruhe, als abſolute oder relative betrachtet werden. Erſtere iſt für uns gar nicht erkennbar; letztere erkennen wir aber aus der Veränderung oder Beibehaltung der Lage gegen ein Syſtem von Körpern, das wir für ruhend annehmen. Um die Bewegung eines Körpers vollſtändig zu überſehen, muß das Verhalten jedes einzelnen Punctes in demſelben bekannt ſeyn. Deßhalb reducirt ſich die Unterſuchung jeder Bewegung zuletzt auf die Betrachtung der Bewegungen von Puncten. Das ſich bewegende oder bewegen ſollende Object heißt im Allgemeinen das Bewegliche. Jeder ſich bewegende Punct beſchreibt eine Linie, welche man ſeine Bahn nennt. Die Theile derſelben hängen, da das Bewegliche ſie ſtetig durchläuft, ununterbrochen an einander. Je nachdem die Bahn gerade oder krumm iſt, heißt die Bewegung gerad- oder krummlinig. Bei einer geradlinigen Bewegung gibt die Bahn ſelbſt, oder jedes ihrer Stücke nach der Gegend hin betrachtet, gegen welche der ſich bewegende Punct ſchreitet, die Richtung der Bewegung an. Erfolgt aber die Bewegung eines Punctes in einer krummen Bahn, ſo wird die Richtung ſeiner Bewegung an jeder Stelle der Bahn durch die zu derſelben gehörende Tangente angezeigt. Die Bewegung eines Körpers oder eines Syſtemes mit einander verbundener Körper heißt progreſſiv (fortſchreitend), wenn zwei mit einander nicht parallele Linien, welche man mit demſelben in Verbindung geſetzt denkt, ihren urſprünglichen Lagen ſtets parallel bleiben. In dieſem Falle beſchreiben alle Puncte der Körper völlig gleiche Bahnen, und die Bewegung eines derſelben kann die aller übrigen vorſtellen. Bleibt während der Bewegung eines Körpers eine gerade mit demſelben verbundene Linie oder ein mit demſelben verbundener Punct unbeweglich, ſo ſagt man der Körper drehe ſich um die Gerade oder um den Punct, und jene heißt die Drehungsaxe, dieſer der Drehungsmittelpunct. Die Bewegung eines Körpers um einen Punct läßt ſich im Allgemeinen als eine Folge von Axendrehungen betrachten, wobei die Axe in jedem Augenblicke eine andere iſt; jede beliebige Bewegung aber iſt entweder progreſſiv oder drehend, oder eine Zuſammenſetzung aus beiden.

21. Zu jeder Bewegung wird Zeit erfordert, denn ein ſich bewegender Punct kann nicht zugleich, ſondern nur nach einander, in zwei verſchiedenen Puncten ſeiner Bahn erſcheinen. Die Zeit iſt eine ſtetige Größe, mithin in das Unendliche theilbar. Wir ſagen, ein Zeittheil ſey einem andern gleich, wenn eine während des erſten vollzogene Bewegung während des andern genau wiederholt werden kann; findet das Gegentheil Statt, ſo heißen die Zeittheile ungleich. Durch unmittelbares Aufeinanderfolgen von zwei, drei, vier ꝛc. gleichen Zei-

ten entſteht eine Zeit, welche doppelt, dreimal, viermal ꝛc. ſo groß iſt, als jede einzelne derſelben. Deßhalb iſt die Zeit eine meßbare Größe. Wird eine beſtimmte Zeit als Einheit angenommen, ſo läßt ſich jede andere Zeit durch die Zahl ausdrücken, welche das Verhältniß derſelben zu der gewählten Einheit angibt. Der Zeitmeſſung legen wir eine ſpäter näher zu beſtimmende Zeit, welche wir Tag nennen, zum Grunde. Der Tag wird in 24 gleiche Theile, nämlich Stunden, die Stunde in 60 Minuten, die Minute in 60 Secunden u. ſ. w. getheilt. Die zwiſchen der Länge des zurückgelegten Weges und zwiſchen der Zeit beſtehende Beziehung drückt das Geſetz der Bewegung aus, und iſt von der Geſtalt der Bahn unabhängig.

22. Weder der Uebergang von Ruhe in Bewegung, noch jener von der Bewegung in Ruhe, oder von einer Bewegung in eine andere kann von einem Körper ſelbſt hervorgebracht werden, ſondern dazu iſt immer eine beſondere von jenem Körper verſchiedene Urſache nothwendig. Man bezeichnet das Unvermögen eines Körpers, ſeinen Zuſtand, er mag nun in Ruhe oder in Bewegung beſtehen, ſelbſtthätig zu ändern, mit der Benennung Trägheit. Da die Trägheit uns bei jeder Bewegung der materiellen Dinge vor Augen geſtellt wird, ja der Hergang der Bewegung davon weſentlich abhängt, ſo müſſen wir die Trägheit als eine mit dem Weſen der Materie ſelbſt innigſt verknüpfte Eigenſchaft, mithin für eine allgemeine Eigenſchaft der Körper gelten laſſen. Dem Gedankendinge, welches der mathematiſche Phyſiker, den Fußſtapfen des Geometers folgend, bei ſeinen abſtracten Betrachtungen einen materiellen Punct nennt, legt er weder Ausdehnung noch Undurchdringlichkeit, wohl aber Trägheit bei.

Daß eine Kugel auf ebenem Boden deſto weiter fortlauft, je glatter dieſer Boden iſt; daß man ſich, wenn man von einer Anhöhe herabgelaufen iſt, in der Ebene nur ſchwer zurückhält u. dgl. m., rührt von der Trägheit her. Den beſten empiriſchen Beweis für dieſe Eigenſchaft liefert die durch Jahrhunderte unverändert fortdauernde Bewegung der Himmelskörper.

23. Die Urſache der Aenderung des Zuſtandes eines Körpers in Hinſicht auf Bewegung und Ruhe erſcheint entweder activ, als bewegende Kraft oder paſſiv als Hinderniß. Kraft nennt man dasjenige, was einen Körper bewegt oder zu bewegen ſucht. Eine Kraft wird immer als etwas von dem betreffenden Körper Verſchiedenes gedacht, ohne darum immer etwas von Außen auf ihn Wirkendes zu ſeyn. Die ſogenannten willkürlichen Bewegungen der Thiere, viele Bewegungen der Pflanzen erfolgen durch etwas in ihrem Organismus Befindliches, das wir aber immer von dem Trägen, welches bewegt wird, als verſchieden denken. Ueber die Beſchaffenheit der Kräfte können wir uns nur durch die Betrachtung ihrer Wirkungen eine Vorſtellung verſchaffen. Jede Kraft wirkt unmittelbar nur auf Einen Punct, den ſogenannten Angriffspunct, den ſie nach einer gewiſſen geraden Linie hin, welche die Richtung der Kraft anzeigt, mit einer gewiſſen Stärke oder Energie, welche uns von der Größe oder In-

tenſität der Kraft einen Begriff geben kann, in Bewegung zu ſetzen ſtrebt. Ein Hinderniß hat ſtets dieſelbe Wirkung zur Folge, wie eine der Bewegung entgegen wirkende Kraft, und kann daher in Gedanken gegen eine ſolche vertauſcht werden.

24. Alle bewegenden Kräfte, welche in der Natur thätig ſind, bringen ihre Wirkung nur während einer gewiſſen Zeit hervor, jedoch iſt dieſe in manchen Fällen ſo klein, daß ſie ſich unſerer Wahrnehmung gänzlich entzieht. Dieſer Umſtand veranlaßt uns zweierlei Arten bewegender Kräfte zu unterſcheiden, nämlich ſolche, die nur einen Augenblick wirken, hernach aber das Bewegliche ganz ſich ſelbſt überlaſſen, momentane Kräfte, und andere, deren Thätigkeit durch eine angebbare Zeit ununterbrochen fortdauert, continuirliche Kräfte. Die Aeußerung einer momentanen Kraft heißt auch Stoß, die einer continuirlichen Druck oder Zug.

25. Die Größen gleichartiger Kräfte laſſen ſich durch bloße Betrachtung der von ihnen ausgehenden Anregung zur Bewegung mit einander vergleichen, ohne daß es nöthig iſt, die Bewegung ſelbſt, die ſie hervorzubringen vermögen, in Erwägung zu ziehen. Zwei Kräfte, die auf denſelben Punct nach gerade entgegengeſetzten Richtungen wirkend, ſich gegenſeitig aufheben, oder, wie man zu ſagen pflegt, einander das Gleichgewicht halten, gelten einander offenbar gleich, und es müſſen ihnen daher auch gleiche Größen zugeſchrieben werden. Eben ſo natürlich erſcheint die Annahme, daß aus der vereinten Thätigkeit zweier, dreier u. ſ. w. nach derſelben Richtung wirkenden gleichen Kräfte eine doppelte, dreifache u. ſ. w. Kraft entſpringe, und überhaupt daß die aus der Vereinigung beliebiger, nach derſelben Richtung thätigen gleichartigen Kräfte hervorgehende Kraft als die Summe der einzelnen Kräfte betrachtet werde. Dieſe Annahme im Auge haltend, wird man leicht die Intenſität jeder vorhandenen momentanen oder continuirlichen Kraft durch eine Zahl vorſtellen können, ſobald man die Stärke einer feſtgeſetzten Kraft jeder Art als Einheit gewählt, und durch die Zahl 1 bezeichnet hat. Es geben dann zwei Kräfte, deren jede = 1 iſt, nach einerlei Richtung angebracht, den Effect der Kraft 2, drei ſolcher Kräfte ſtellen den Effect der Kraft 3 dar u. ſ. w., ſo wie jeder von zwei oder drei gleichen Kräften u. ſ. w. die zuſammen der Kraft 1 gleich gelten, der Zahlwerth $^1/_2$ oder $^1/_3$ u. ſ. w. gehört.

26. Wird ein in Bewegung geſetzter materieller Punct nicht weiter von einer Kraft getrieben, auch durch kein Hinderniß gehemmt, ſo kann an ſeiner Bewegung durchaus keine Aenderung vor ſich gehen. Er wird daher einer geraden Linie, welche die Richtung ſeiner Bewegung iſt, folgen, und binnen gleichen Zeiten gleiche Wege zurücklegen. Eine Bewegung, bei welcher binnen gleichen Zeiten gleiche Wege beſchrieben werden, heißt eine gleichförmige, jene, bei welcher dieß nicht der Fall iſt, eine ungleichförmige. Eine momentane Kraft erzeugt daher eine gleichförmige Bewegung.

Das Stattfinden einer geradlinigen gleichförmigen Bewegung eines Körpers iſt daher nicht minder ein Kennzeichen, daß derſelbe der Einwir-

kung keiner Kraft unterliegt, als die Beibehaltung der Ruhe; nur deutet die vorhandene Bewegung auf die frühere Einwirkung einer Kraft hin. Aus dem Stattfinden einer krummlinigen Bewegung läßt ſich entweder auf das Vorhandenſeyn einer Kraft, die das Bewegliche in jedem Augenblicke von ſeiner ihm in einem früheren Augenblicke ertheilten, und der Trägheit zufolge beizubehaltenden Richtung ablenkt, oder auf die Anweſenheit eines Hinderniſſes ſchließen, welches ihm nicht geſtattet, einerlei Richtung zu folgen. Auf gleiche Weiſe gibt die Ungleichförmigkeit einer Bewegung die fortwährende Thätigkeit einer Kraft oder den ununterbrochenen Einfluß eines Hinderniſſes zu erkennen.

27. Die gleichförmige Bewegung iſt die einfachſte, welche wir uns vorzuſtellen vermögen. Aus dem Begriffe derſelben folgt, daß, wenn S, s Wege bedeuten, welche während der Zeiten T, t zurückgelegt werden, dieſe Wege ſich verhalten wie die entſprechenden Zeiten oder daß die Proportion $S : s = T : t$ Statt findet. Dieſe gibt $\frac{S}{T} = \frac{s}{t}$, es iſt alſo der Quotient, den der Zahlwerth eines Weges durch jenen der zugehörigen Zeit getheilt gibt, während der Bewegung unveränderlich. Dieſer Quotient, durch deſſen Größe ſich verſchiedene gleichförmige Bewegungen von einander unterſcheiden, entſpricht der Geſchwindigkeit der Bewegung, auf welche er ſich bezieht. Wir nennen nämlich eine Bewegung um ſo geſchwinder, je größer der binnen einer beſtimmten Zeit zurückgelegte Weg, oder je kleiner die zur Zurücklegung eines beſtimmten Weges erforderliche Zeit iſt. Weil die Einheit der Geſchwindigkeiten willkürlich iſt, kann man obigen Quotienten ſelbſt als den Ausdruck der Geſchwindigkeit gelten laſſen, mithin die Geſchwindigkeit C einer gleichförmigen Bewegung, bei der während der Zeit T der Weg S beſchrieben wird, durch die Formel $C = \frac{S}{T}$ darſtellen, aus welcher $S = CT$ und $T = \frac{S}{C}$ folgt. Da für $T = 1$, $C = S$ wird, ſo iſt der numeriſche Werth der Geſchwindigkeit jenem des während der Zeit 1 zurückgelegten Weges gleich, und da, wenn überdieß $S = 1$, auch $C = 1$ wird, ſo iſt die Einheit der Geſchwindigkeiten jene, mit welcher die Längeneinheit während der Zeiteinheit durchlaufen wird. Dividirt man bei einer ungleichförmigen Bewegung den Weg durch die zugehörige Zeit, ſo erhält man die Geſchwindigkeit, mit welcher derſelbe Weg binnen derſelben Zeit gleichförmig zurückgelegt werden könnte. Man nennt ſie die genannter Zeit entſprechende mittlere Geſchwindigkeit der ungleichförmigen Bewegung.

Als Zeiteinheit bei Angaben von Geſchwindigkeiten dient in der Regel die Secunde; hiernach erhalten die abgekürzten Angaben: die Geſchwindigkeit eines Fußgängers im mäßigen Schritte ſey 5 Fuß, eines ſchnell laufenden Mannes 20 Fuß, eines Pferdes im Trabe 10 Fuß, im Galop 25 Fuß, eines Dampfwagens im Mittel 30 Fuß, einer Flintenkugel 1200 Fuß, einer zwölfpfündigen Kanonenkugel 800 Fuß u. dgl. ihre beſtimmte Bedeutung.

28. Daß dieſelbe momentane Kraft demſelben Beweglichen immer dieſelbe Geſchwindigkeit ertheilt, wenn ſie es von der Ruhe in Bewegung

bringt, iſt für ſich klar; die Erfahrung lehrt aber, daß ſelbſt der Zuwachs an Geſchwindigkeit, den eine Kraft einem ſchon in Bewegung begriffenen Beweglichen zu Theil werden läßt, jener Geſchwindigkeit gleicht, welche dieſelbe Kraft dem ruhenden Beweglichen zu ertheilen vermag. Verſchiedene momentane Kräfte ertheilen demſelben Beweglichen verſchiedene Geſchwindigkeiten, und zwar ſind der Erfahrung zu Folge die Geſchwindigkeiten den auf oben (25) erklärte Art gemeſſenen Kräften proportionirt. Es erzeugt nämlich die doppelte Kraft, bei demſelben Beweglichen, die doppelte Geſchwindigkeit, die dreifache Kraft bringt die dreifache Geſchwindigkeit hervor u. ſ. w. Nennen wir alſo die Kräfte, welche zu verſchiedenen Malen auf dasſelbe Bewegliche wirken, P und p, und die von ihnen erzeugten Geſchwindigkeiten C und c, ſo beſteht die Proportion $P : p = C : c$.

29. Dieſelbe momentane Kraft ertheilt, wie die Erfahrung lehrt, verſchiedenen frei beweglichen Körpern verſchiedene Geſchwindigkeiten; es hängt alſo die Geſchwindigkeit, mit welcher ein Bewegliches von einer ſolchen Kraft fortgetrieben wird, nicht allein von der Intenſität der Kraft, ſondern auch von der Beſchaffenheit des Beweglichen ab. Folgende Betrachtung führt zur Erkenntniß des letzteren Einfluſſes: Zwei vollkommen identiſche Körper erhalten durch gleiche Kräfte gleiche Geſchwindigkeiten; ſetzt man beide Körper mit einander in eine ſo feſte Verbindung, daß ſie wie Ein Körper zu betrachten ſind, und läßt man darauf die Summe der Kräfte, d. h. das Doppelte jeder einzelnen, wirken, ſo bekommt der Erfahrung zu Folge das Ganze dieſelbe Geſchwindigkeit, welche früher die einzelnen Kräfte den getrennten Körpern ertheilten. Es zeigt dieß deutlich, daß jeder der beiden Theile des zuſammengeſetzten Körpers auch in der Zuſammenſetzung ſeine Trägheit behauptet, mithin eigens bewegt werden muß. Vollkommen identiſchen Körpern müſſen wir wohl gleiche Mengen des Gehaltes an Materie, und der Verbindung beider die doppelte materielle Quantität zuſchreiben. Man nennt die Quantität der Materie, die man an einem Körper wahrnimmt, ſeine Maſſe. Es ſpricht daher die ſo eben angeführte Erfahrung den Satz aus, daß die doppelte Maſſe zur Erlangung einer gewiſſen Geſchwindigkeit das Doppelte der Kraft fordert, die der einfachen Maſſe dieſelbe Geſchwindigkeit zu ertheilen vermag. Eben ſo lehrt die Erfahrung, daß, um eine dreifache Maſſe auf gleiche Weiſe zu bewegen, die dreifache Kraft nöthig iſt u ſ. w., ja ſogar im Allgemeinen, daß, ſobald zwei Körper, ſie mögen in ihren übrigen materiellen Qualitäten harmoniren oder nicht, durch zwei Kräfte gleiche Geſchwindigkeiten empfangen, auch die Vereinigung der Körper von der Summe der Kräfte getrieben, die nämliche Geſchwindigkeit erhält. Es iſt kein Grund vorhanden, wenn es ſich um die Trägheit eines Körpers handelt, auf ſeine ſonſtigen Eigenſchaften zu ſehen. Man ſchreibt daher, im Einklange mit dem was die Betrachtung gleichartiger Körper gelehrt hat, zweien wie immer beſchaffenen Körpern, denen gleiche momentane Kräfte gleiche Geſchwindigkeiten ertheilen, auch gleiche Maſſen zu, ferner ſieht man die Maſſe eines Körpers als das Doppelte,

Dreifache u. ſ. w. der Maſſe eines andern an, wenn zur Erlangung derſelben Geſchwindigkeit erſtere das Doppelte, Dreifache u. ſ. w. der Kraft in Anſpruch nimmt. Sind alſo M, m die Maſſen zweier Körper, P, p zwei Kräfte, die ihnen einerlei Geſchwindigkeiten ertheilen, ſo beſteht die Proportion $M : m = P : p$. Sie vertritt die Stelle der Definition deſſen, was wir Maſſe nennen, da ſich offenbar von Menge der Materie gar nicht mit Beſtimmtheit reden läßt, wenn man nicht feſtgeſetzt hat, wornach dieſe Menge beurtheilt werden ſoll. Nimmt man eine beliebige Maſſe als Einheit an, ſo kann man mittelſt dieſes Satzes jede vorhandene Maſſe damit vergleichen und durch eine Zahl ausdrücken.

30. Es ſeyen nun P, p momentane Kräfte, die auf die freibeweglichen Maſſen M, m einwirken, und denſelben beziehungsweiſe die Geſchwindigkeiten C, c ertheilen. Nennt man Q die Kraft, welche der Maſſe M die Geſchwindigkeit c zu geben vermag, ſo iſt

nach 28: $P : Q = C : c$

und nach 29: $Q : p = M : m$

mithin iſt $P : p = MC : mc$.

Es verhalten ſich ſonach zwei momentane Kräfte wie die Producte aus den Maſſen, worauf ſie wirken, mit den Geſchwindigkeiten, die ſie hervorbringen. Wählt man jene Kraft zur Einheit, die der Einheit der Maſſen die Geſchwindigkeit 1 beibringt, ſo hat man, wenn man $m = 1$, $c = 1$ ſetzt, auch $p = 1$, mithin $P = MC$. Bei dieſer Wahl der Einheiten wird alſo jede momentane Kraft durch das Product aus der bewegten Maſſe mit der erzeugten Geſchwindigkeit gemeſſen. Man nennt dieſes Product auch die Größe der Bewegung. Bewegt eine und dieſelbe Kraft die Maſſe M mit der Geſchwindigkeit C, und die Maſſe M′ mit der Geſchwindigkeit C′, ſo beſteht die Gleichung $MC = M'C'$, woraus $M : M' = C' : C$ folgt. Wirkt alſo dieſelbe Kraft nach einander auf verſchiedene Maſſen, ſo ſtehen die Geſchwindigkeiten in dem verkehrten Verhältniſſe der Maſſen.

31. Wirkt eine continuirliche Kraft während einer gewiſſen Zeit auf einen völlig freien materiellen Punct oder Körper, und hört ſodann zu wirken auf, ſo daß das Bewegliche nun lediglich ſeiner Trägheit überlaſſen bleibt, ſo wird dasſelbe nach einer gewiſſen Richtung mit einer der vorausgegangenen Einwirkung der Kraft entſprechenden Geſchwindigkeit in gleichförmiger Bewegung fortſchreiten. Der Erfolg wird ſonach ganz derſelbe ſeyn, als ob im Augenblicke des Erlöſchens der continuirlichen Kraft eine momentane mit einer angemeſſenen Intenſität auf das Bewegliche gewirkt hätte. Man kann nun während der Bewegung eines Körpers durch eine continuirliche Kraft, die ihm in Folge der Trägheit in jedem Augenblicke eigene Fähigkeit, binnen einer gewiſſen Zeit einen gewiſſen Weg zu beſchreiben, ins Auge faſſen, und dem gemäß ihm eine beſtimmte Geſchwindigkeit beilegen, welche ſich kund geben würde, wenn die Wirkſamkeit der Kraft in dem genannten Augenblicke aufhörte. Dieſe Geſchwindigkeit iſt es, welche man die dem erwähnten Augenblicke entſprechende Ge-

ſchwindigkeit des Beweglichen nennt. Sie wird in dem beſonderen Falle, wenn das Bewegliche urſprünglich in Ruhe war, und die continuirliche Kraft es ſtets nach derſelben Richtung treibt, fortwährend und ſtetig vergrößert, ſo nämlich, daß ſie, von den kleinſten Werthen angefangen, durch alle Abſtufungen der Größe fortwächſt. Iſt aber das Bewegliche bereits im Zuſtande der Bewegung, und wirkt die continuirliche Kraft ſeiner Richtung gerade entgegen, ſo wird die Geſchwindigkeit fortwährend verkleinert, und die Richtung der Bewegung geht, wenn die Geſchwindigkeit bis auf Null herabgebracht worden iſt, in die entgegengeſetzte über. Eine Bewegung, bei der die Geſchwindigkeit wächſt, heißt eine beſchleunigte, jene aber, bei der die Geſchwindigkeit abnimmt, eine verzögerte.

32. Eine continuirliche Kraft wirkt entweder ſtets mit derſelben Stärke, und heißt dann eine beſtändige, oder ihre Intenſität unterliegt Veränderungen, und ſie heißt eine veränderliche Kraft. Wenn ein völlig freies und urſprünglich in dem Zuſtande der Ruhe befindliches Bewegliches durch eine beſtändige continuirliche Kraft getrieben wird, ſo iſt die erzeugte Geſchwindigkeit ſtets der Zeit, binnen welcher ſie hervorgebracht wurde, proportionirt. Denn hat die Kraft während einer beſtimmten Zeit τ die Geſchwindigkeit γ erzeugt, ſo wird, wenn die Wirkſamkeit der Kraft noch durch einen gleichen Zeitraum τ fortwährt, zu der bereits vorhandenen Geſchwindigkeit γ noch die neuerzeugte Geſchwindigkeit γ hinzukommen, und ſomit die Geſchwindigkeit nach Verlauf der Zeit 2τ, vom Anfange der Bewegung an gezählt, $= 2\gamma$ werden. Eben ſo ſieht man, daß am Ende der Zeit 3τ die Geſchwindigkeit $2\gamma + \gamma = 3\gamma$ vorhanden ſeyn werde u. ſ. w. Sind alſo c, c' die Geſchwindigkeiten, welche das Bewegliche während der Zeiten t, t' erlangt, ſo iſt $c : c' = t : t'$. Hat das Bewegliche in dem Augenblicke, in welchem die Wirkung der continuirlichen Kraft beginnt, bereits eine Geſchwindigkeit, und ſtimmt die Richtung der Kraft mit jener dieſer Geſchwindigkeit überein, ſo wird dieſe während einer gegebenen Zeit um den ganzen Betrag derjenigen vergrößert, welche die Kraft für ſich allein hervorzubringen vermag; wirkt aber die Kraft nach gerade entgegengeſetzter Richtung, ſo wird die urſprüngliche Geſchwindigkeit des Beweglichen um eben ſo viel verkleinert. Die Zunahme der Geſchwindigkeit im erſten und die Abnahme der Geſchwindigkeit im zweiten Falle iſt alſo der Zeit proportionirt, und die Bewegung heißt in jenem eine gleichförmig beſchleunigte, in dieſem eine gleichförmig verzögerte.

33. Die Geſchwindigkeit, welche eine beſtändige continuirliche Kraft einem Körper während einer feſtgeſetzten Zeit, z. B. während der Zeiteinheit, ertheilt, hängt von der Intenſität der Kraft und von der Maſſe des Körpers ab. Durch Schlüſſe, die den in 28 — 30 durchgeführten ähnlich ſind, läßt ſich zeigen, daß zwei continuirliche Kräfte P, p, die den Maſſen M, m binnen der Zeit 1 die Geſchwindigkeiten G, g ertheilen, ſich verhalten wie die Producte aus den Maſſen in die Geſchwindigkeiten, ſo daß alſo $P : p = MG : mg$ iſt.

Wählt man jene beſtändige Kraft zur Einheit, die der Maſſe 1 binnen der Zeit 1 die Geſchwindigkeit 1 beibringt, ſo iſt, wenn man m = 1 und g = 1 ſetzt, auch p = 1, und daher P = MG. Die der Zeiteinheit entſprechende Geſchwindigkeit G, die nach der ſo eben gefundenen Formel auch die Kraft vorſtellt, die auf die Maſſeneinheit kommt, wenn jeder ihrer Theile ſo getrieben wird, wie dieß bei der Maſſe M unter dem Einfluſſe der Kraft P der Fall iſt, heißt die dieſer Zuſammenſtellung von Kraft und Maſſe entſprechende Acceleration oder Beſchleunigung. Erzeugt die auf die Maſſe M wirkende beſtändige Kraft P während der Zeit T die Geſchwindigkeit C, ſo iſt (32) $C : G = T : 1$, mithin $G = \frac{C}{T}$, daher auch $P = \frac{MC}{T}$. Dieſelbe Formel kann ſogar gebraucht werden, um die Intenſität einer veränderlichen Kraft in irgend einem Augenblicke darzuſtellen, wenn man unter C die Geſchwindigkeit verſteht, welche dieſe Kraft binnen der Zeit T erzeugen würde, wenn ſie mit der Stärke, die ſie im erwähnten Augenblicke hat, ungeändert fortwirkte.

Hieraus ſieht man, daß eine momentane Kraft, die einem Beweglichen während einer unmeßbar kleinen Zeit eine meßbare Geſchwindigkeit ertheilt, gegen eine continuirliche Kraft, die zur Hervorbringung dieſes Effectes einer Zeit von merklicher Dauer bedarf, nur als unendlich groß betrachtet werden kann. Stoß und Druck ſtellen ſich uns ſomit als heterogene Kräfte dar, zwiſchen deren Größen keine numeriſche Vergleichung Statt findet.

34. Ein und derſelbe Körper enthält nicht unter allen Umſtänden bei demſelben Volum gleich viel Maſſe; denn die Erfahrung lehrt, daß ſich der Rauminhalt eines Körpers vergrößern und verkleinern läßt, d. h. daß der Körper ausdehnbar und zuſammendrückbar iſt. Die Ausdehnung oder Zuſammendrückung kann durch mechaniſche, von Außen angebrachte Kräfte bewirkt werden; das kräftigſte Mittel, das Volum eines Körpers zu ändern, iſt aber Erwärmung und Erkältung. Durch erſtere wird es vergrößert, durch letztere verkleinert. Wenn einige Körper, z. B. Thon, Leder, ſich in der Hitze zuſammenziehen, ſtatt ſich auszudehnen, ſo kommt dieſes auf Rechnung verflüchtigter oder zerſtörter Stoffe oder des aufgehobenen Gefüges, und kann deßhalb nicht als der Regel widerſprechend angeſehen werden.

Befeſtiget man einen dünnen Stab von Holz, Metall oder einem anderen Stoffe an einem Ende und bringt am anderen ein Gewicht an, welches ihn zu verlängern ſucht; ſo bemerkt man auch eine entſprechende Verlängerung des Stabes. Ein Zwirnfaden, ein Bleidraht, ein Streifen Kautſchuk u. ſ. w. läßt ſich ſchon durch den Zug mit der Hand verlängern. Dabei wird ein ſolcher Körper allerdings auch dünner, jedoch in einem geringeren Verhältniſſe, als er länger geworden iſt, ſo daß alſo eine wirkliche Vergrößerung des Volums eingetreten iſt. Wird ein ſolcher Körper am unteren Ende aufgeſtemmt und von oben mit Gewichten belaſtet, ſo wird er zuſammengedrückt und ſein Volum vermindert. Eine metallene Kugel, die genau durch einen Ring geht, ſo lange ſie kalt iſt, bleibt in demſelben ſtecken, wenn man ſie ohne den Ring erhitzt; füllt man ein Gefäß, das mit einer verhältnißmäßig

engen Röhre verbunden iſt, mit einer Flüſſigkeit ſo weit an, daß dieſelbe in die Röhre reicht, ſo ſieht man ſie ſteigen, wenn Erwärmung eintritt; eine ſchlaffe Blaſe ſchwillt an, wenn ſie luftdicht zugebunden iſt und einem warmen Ofen genähert wird. Die Zunahme des Rauminhaltes beträgt in der Regel deſto mehr, je weiter ein Körper erhitzt wird; mit der Rückkehr der vorigen Wärme ſtellt ſich in der Regel wieder das vorige Volum ein.

35. Die Vergrößerung des Rauminhaltes eines Körpers durch Erwärmung ſteht mit der Größe dieſer Erwärmung in ſo genauer Verbindung, daß man von jener auf dieſe ſchließen kann, und es iſt die Größe der Ausdehnung eines Körpers der ſicherſte Maßſtab für die Größe der Erwärmung oder Temperatur. Das Inſtrument, welches zum Meſſen der Temperatur dient, und auf der Ausdehnung der Körper durch die Wärme beruht, heißt Thermometer. Man bedient ſich heut zu Tage drei verſchiedener Arten der Thermometer, nämlich der Queckſilber-, Weingeiſt- und der Luftthermometer. Hier ſoll nur von den zwei erſten die Rede ſeyn.

Die Empfindung, welche ein warmer Körper in uns erregt, und die man vielleicht für den einfachſten und beſten Maßſtab der Wärme zu halten geneigt ſeyn dürfte, taugt dazu nicht, weil ſie nicht allein von der Temperatur, ſondern auch von der Individualität, Gewohnheit, vom Alter, vom vorhergehenden Zuſtande der Wärme des Empfindenden ꝛc. abhängt. Warm erſcheint uns ein Körper, der uns Wärme im objectiven Sinne zuführt, kalt derjenige, der ſie uns entreißt; darum kann uns derſelbe Körper bald warm, bald kalt erſcheinen. Taucht man die Hand in kaltes Waſſer, ſo erſcheint uns dieſes Anfangs kälter, als nach einiger Zeit; taucht man ſie in warmes, ſo finden wir auch dieſes Anfangs am wärmſten, weil uns Anfangs vom kalten Waſſer am meiſten Wärme entriſſen, vom warmen aber am meiſten zugeführt wird. Taucht man eine Hand in kaltes, die andere in warmes Waſſer, hierauf aber beide in laues; ſo hält man letzteres nach der Empfindung an der einen Hand für warm, an der anderen für kalt.

36. Das Queckſilberthermometer beſteht aus einer gläſernen, engen, wohl kalibrirten Röhre (Fig. 2), an deren einem Ende ein ihrer Weite angemeſſenes, meiſtens kugelförmiges Gefäß angeblaſen iſt. Dieſes wird bis zu einer beſtimmten Höhe mit reinem trockenen Queckſilber gefüllt, und alle Luft, die theils im Queckſilber ſelbſt, theils zwiſchen dem Glaſe und dem Queckſilber enthalten iſt, durch Kochen ausgetrieben. Meiſtens vertreibt man auch die Luft, welche ſich oberhalb des Queckſilbers befindet, und ſchmilzt dann die Röhre zu; nur ſelten läßt man ſie offen. Ein ſo weit fertiges Thermometer wird hierauf mit einer Scale verſehen. Zu letzterem Zwecke beſtimmt man zwei Puncte an der Röhre; den einen (Eispunct) dadurch, daß man die Röhre in aufthauendes Eis ſenkt, ſo lange darin läßt, bis ſich die Länge der Queckſilberſäule nicht mehr ändert, und dann den Punct am Glaſe anmerkt, der ihrem Ende entſpricht; den andern (Siedpunct), indem man ſie in reines, ſiedendes Waſſer hält und eben ſo verfährt. Die Folge wird lehren, mit welchen Vorſichten letzteres zu geſchehen habe. Den Abſtand dieſer zwei Puncte (Fundamentalabſtand) theilt

man in gleiche Theile oder Grade, und zwar in 80 nach Réaumur, in 100 nach Celſius, in 180 nach Fahrenheit, und bezeichnet in den erſten zwei Fällen den Eispunct mit 0, im dritten mit 32, ſo daß dem Siedpuncte bei der Réaumur'ſchen Eintheilung die Zahl 80, bei der Celſiſchen 100, bei der Fahrenheit'ſchen 180 + 32 = 212 entſpricht. Man kann dieſe Eintheilung in Grade auch noch über dem Siedpuncte und unter 0 fortſetzen, und die Grade unter 0 negative (Kältegrade) nennen, zum Unterſchiede von denen über 0, welche man poſitive (Wärmegrade) heißt. Es gibt auch Thermometer mit ungleich großen Graden. Gay-Luſſac lehrte ſie zuerſt aus ungleich weiten Röhren ſo verfertigen, daß zwiſchen je zwei auf einander folgenden Theilſtrichen gleiche Theile des Rauminhaltes der Röhre liegen. Man kann gleich an demſelben Thermometer mehrere Eintheilungen anbringen, und auch die Grade einer Eintheilung in die einer anderen durch eine einfache Rechnung verwandeln.

Nennt man z. B. eine beliebige Anzahl Grade nach Réaumur R, die ihr entſprechende Anzahl nach Celſius C, nach Fahrenheit F, ſo iſt:

$$\tfrac{4}{9}(F - 32) = R,\quad \tfrac{9}{4}R + 32 = F$$
$$\tfrac{4}{5}C = R\quad,\quad \tfrac{5}{4}R = C$$
$$\tfrac{5}{9}(F - 32) = C,\quad \tfrac{9}{5}C + 32 = F.$$

Nach Deliſle's nun wohl veralteter Thermometerſcale wird der Fundamentalabſtand in 150 gleiche Theile getheilt, der Siedpunct mit 0, der Eispunct mit 150 bezeichnet. Newton hat als fixe Puncte ſeines Leinöhlthermometers den Schmelzpunct des Eiſes und die Wärme ſeines Körpers angenommen und den Abſtand in 12 gleiche Theile getheilt. Erſt nach dem Jahre 1714 wurde man über die Wahl der fixen Puncte einig, nicht aber über die Eintheilung des Fundamentalabſtandes, zu welcher viele Vorſchläge gemacht wurden. Das erſte Thermometer war ein Luftthermometer, Drebbel, ein holländiſcher Landmann, ſoll es im Jahre 1630 erfunden haben.

37. Sollen zwei Queckſilberthermometer übereinſtimmend ſeyn, d. h. ſollen ſie unter einerlei Umſtänden übereinſtimmende Grade angeben; ſo müſſen ſie nicht allein genau auf dieſelbe Art in ihren weſentlichen Puncten verfertiget werden, ſondern es muß auch das angewendete Queckſilber von gleicher Natur und Reinheit ſeyn, die Temperaturen des aufthauenden Eiſes und des ſiedenden Waſſers müſſen beſtändig dieſelben bleiben, und ſowohl der Eis- als der Siedpunct unverändert an dieſelbe Stelle fallen. Der Erfahrung gemäß iſt die Temperatur des reinen zerſtoßenen Eiſes oder des Schnees, von dem Augenblicke an, wo die Schmelzung ſichtbar zu werden anfängt, bis dahin, wo ſie mit Waſſer durchzogen ſind, vollkommen conſtant und an allen Orten und zu allen Zeiten dieſelbe; die genaue Beſtimmung des Eispunctes unterliegt daher keiner Schwierigkeit. Die Hitze des ſiedenden reinen Waſſers hängt aber von der Natur des Gefäßes, worin es kocht, vom Drucke der Luft und von der Tiefe der ſiedenden Schichte unter der Oberfläche des Waſſers ab, und es muß darum bei der Beſtimmung des Siedpunctes auf jeden dieſer Umſtände die gehörige Rückſicht genommen werden. Es iſt ſogar nicht gleichgiltig, ob man die Fundamentalpuncte bald nachdem ein Thermometer gefüllt und luftleer

gemacht worden, oder einige Monate ſpäter beſtimmt, und es ſoll immer letzteres Statt finden, wenn man vermeiden will, daß nicht der Eispunct mit der Zeit eine kleine Verrückung erleide und dem Siedpuncte näher rücke.

Man hat erfahren, daß Waſſer bei übrigens gleichen Umſtänden nur in allen metallenen Gefäßen bei demſelben Hitzegrade ſiedet, in gläſernen oder thönernen Gefäßen aber dazu eine höhere, und nicht in allen Gefäßen gleiche Temperatur braucht; deßhalb ſoll die Beſtimmung des Siedpunctes ſtets in einem Metallgefäße geſchehen. Jedoch haben ſelbſt in einem ſolchen Gefäße nicht alle Schichten des ſiedenden Waſſers einerlei Hitze, ſondern dieſe iſt an der oberſten Schichte am geringſten, und wächſt von oben nach unten ſo, daß in einem nur etwas tiefen Gefäße zwiſchen der Hitze der oberſten und unterſten Schichte ein ſehr bedeutender Unterſchied herrſcht. Die Temperatur der oberſten Waſſerſchichte hat auch der Dampf über dem Waſſer, vorausgeſetzt, daß er ſich reichlich entwickelt und nicht durch eine zu große Oeffnung entweichen kann. Darum beſtimmt man den Siedpunct am beſten im Dampfe, unmittelbar über der Fläche des ſiedenden Waſſers. Iſt das Kochgefäß ſo eingerichtet, daß der Dampf erſt abwärts ſteigen muß, um ins Freie gelangen zu können, ſo nimmt ſelbſt im empfindlichſten Inſtrumente das Queckſilber einen vollkommen ſtationären Stand an, und läßt über den wahren Ort des Siedpunctes gar keine Unſicherheit übrig. Aber ſowohl der Waſſerdampf als die oberſte ſiedende Waſſerſchichte haben nur bei demſelben Luftdrucke dieſelbe Temperatur, und werden deſto heißer, je größer der Luftdruck iſt. Die Folge wird lehren, daß man dieſen Druck durch den Stand des Barometers erkennt. Deßhalb ſoll man den Siedpunct entweder nur bei einem beſtimmten Barometerſtande, nämlich bei dem von 28 Pariſer Zoll beſtimmen, oder den bei einem anderen Stande gefundenen auf jenen reduciren. So lange das Barometer über 26 Pariſer Zoll ſteht, findet man den Fundamentalabſtand für jede Pariſer Linie, um welche der Luftdruck kleiner als 28 Pariſer Zoll iſt, um 0,0007 zu klein, und für jede Linie über 28 Pariſer Zoll um eben ſo viel zu groß. Beim Füllen eines Thermometers wird nothwendig der Queckſilberbehälter einer hohen Temperatur ausgeſetzt und bedeutend erweitert. Der Erfahrung zu Folge erlangt er nicht gleich, nachdem er wieder erkaltet iſt, genau ſeine vorige Größe, und das Queckſilber ſteht darum verhältnißmäßig zu tief. Beim Luftleermachen wird derſelbe aber durch den äußeren Luftdruck zuſammengepreßt und dadurch wieder verengert. Meiſtens wird durch dieſe Verkleinerung die von der ſtarken Erhitzung herrührende Vergrößerung compenſirt. Beſtimmt man daher den Eispunct eines Thermometers bald nachdem dieſes gefüllt und luftleer gemacht worden, ſo fällt er in der That auf ſeine gehörige Stelle. Allein nach einiger Zeit (nach etwa vier Monaten) verliert ſich die von der Erhitzung herrührende Vergrößerung des Queckſilberbehälters, während die vom Luftdrucke herrührende Verkleinerung desſelben fortdauert, und ſo kommt es, daß nach dieſer Zeit der Eispunct dem Siedpuncte näher gerückt erſcheint. Wenn man den Eispunct erſt wenigſtens vier Monate nach dem Füllen des Thermometers beſtimmt, ſo hat man eine ſolche Verrückung des Eispunctes nicht mehr zu befürchten; aber wenn das Inſtrument einer ſtarken Erhitzung (bis auf etwa 300°) ausgeſetzt wird, tritt eine ähnliche Vergrößerung des Queckſilberbehälters wie beim erſten Füllen neuerdings ein, verſchwindet aber wieder nach mehreren Monaten. (Siehe Gintl in Zeitſchr. n. F. 55 u. 117.)

38. **Weingeiſtthermometer** ſind den Queckſilberthermometern ganz ähnlich, werden auch auf gleiche Weiſe verfertigt, nur mit dem Unterſchiede, daß man als thermometriſche Flüſſigkeit ſtatt Queckſilber ſtarken (36—40gradigen, d. i. die Dichte 0,85—0,83 zeigenden) gefärbten Weingeiſt nimmt. Wiewohl dieſer für ſich im Freien ſchon unter 100° C ſiedet, ſo kann man doch Weingeiſtthermometer verfertigen, welche ohne Gefahr des Zerſpringens die Hitze des ſiedenden Waſſers aushalten. Man braucht ſie nur ganz luftleer zu machen. Die entſtehenden Weingeiſtdünſte hindern durch ihren Druck das Sieden des Weingeiſtes, und haben doch nicht Kraft genug, ein ſtarkes Glas zu zerreißen. Es iſt wohl an ſich klar, daß ein Weingeiſt- und ein Queckſilberthermometer nicht mit einander übereinſtimmen werden. Oberhalb des Eispunctes iſt der Gang des Weingeiſtthermometers weniger regelmäßig als jener eines Queckſilberthermometers; unter dem Eispuncte befolgt aber jenes einen eben ſo regelmäßigen, ja in der Nähe des Gefrierpunctes des Queckſilbers ſogar einen richtigeren Gang als dieſes. Man hat eigene Tabellen über den correſpondirenden Gang eines Queckſilber- und Weingeiſtthermometers.

Zur Angabe der höchſten und niedrigſten Temperatur, welche die Luft in einem Zimmer oder im Freien während einer gewiſſen Zeit hatte, dient Rutherford's Maximum- und Minimum-Thermometer (Fig. 3). Es beſteht aus zwei an derſelben Faſſung befeſtigten horizontal liegenden Thermometern a und b, deren eines Queckſilber, das andere Weingeiſt enthält. In der Röhre des Queckſilberthermometers befindet ſich ein kleiner Cylinder von Eiſen oder Stahl, der ſich ohne merkliche Reibung darin bewegen kann. Dieſen treibt die Queckſilberſäule vor ſich hin, und läßt ihn an dem höchſten Puncte der Scala liegen, wodurch das Maximum der Temperatur angezeigt wird. In der Röhre des Weingeiſtthermometers hingegen iſt ein ſolcher Cylinder aus Glas oder Email angebracht, der im Weingeiſte ganz eingetaucht ſchwimmt. Zieht ſich der Weingeiſt zuſammen, ſo nimmt die Oberfläche deſſelben dieſen Zeiger mit fort, ſo wie ſich aber die Weingeiſtſäule verlängert, geht die Flüſſigkeit an den Seiten des Cylinders vorbei, während dieſer an der tiefſten Stelle der Scala, wohin er kam, liegen bleibt, und ſo das Minimum der Temperatur anzeigt. Die beiden Thermometer haben eine entgegengeſetzte Stellung, damit durch gehöriges Neigen ihrer Faſſung der Zeiger in jedem zur Oberfläche der Flüſſigkeitsſäule zurückgeführt werden könne, wenn eine neue Beobachtung beginnen ſoll. Die Größe der horizontalen Dimenſion des Inſtrumentes und noch mehr der Umſtand, daß die Richtigkeit ſeiner Angaben durch Erſchütterung leicht gefährdet wird, eignet es nicht zu jedem Gebrauche. So nimmt man zur Erforſchung der Temperaturszunahme in tiefen Bohrlöchern arteſiſcher Brunnen zu einer anderen Einrichtung des Maximumsthermometers, z. B. zu dem von Magnus angegebenen Geothermometer ſeine Zuflucht. Hievon, wie auch von Luftthermometern, Metallthermometern, Differenzialthermometern u. dgl., wird an den gehörigen Orten die Rede ſeyn. Ueber die Verfertigung der Thermometer ſiehe: Luz Anweiſung, Thermometer zu verfertigen. Nürnberg, 1834. Körner's Anleitung zur Verfertigung übereinſtimmender Thermometer. Jena, 1824. Rudberg in Pogg. Ann. 40, 39 u. 582.

39. Für große Hitzegrade, die mittelſt der Thermometer nicht mehr beſtimmt werden können, bedient man ſich ſogenannter **Pyrometer**. Dieſe ſind noch bei weitem nicht auf einen ſo hohen Grad der Vollkommenheit gebracht, wie die Thermometer, und keine der verſchiedenen Einrichtungen, die man den Pyrometern bis jetzt gegeben hat, erfreut ſich eines allgemeinen Gebrauches. Das Wedgewood'ſche Pyrometer, welches auf der Eigenſchaft des Thones beruht, ſich in der Hitze um ſo mehr zuſammenzuziehen, je ſtärker dieſe iſt, und dem man längere Zeit vieles Zutrauen ſchenkte, iſt in Folge neuerer Unterſuchung für unzuverläßig erkannt worden und wird jetzt kaum mehr beachtet. Man hat daher andere Mittel ergriffen. Guyton Morveau (Mémoires de l'Acad. 1808) mißt die Hitzegrade eines Körpers durch die Ausdehnung des Platins; Daniell, nach deſſen Erfahrung ſich ein Thoncylinder in einer mäßigen lange anhaltenden Hitze eben ſo ſtark zuſammenzieht, wie in einer hohen, nur kurz dauernden, mithin ſchon deßhalb allein als pyrometriſche Subſtanz unbrauchbar iſt (Edinb. philos. journ. N. 10. 397), durch den Unterſchied zwiſchen der Ausdehnung des Platins und des Graphits, Mill (Zeitſchr. 2. 75) und Pouillet (Eléments de Physique. 3. Edit. I. 231) durch die Ausdehnung der Luft in einem Platingefäße. Am annehmbarſten dürfte wohl Prinſep's Vorſchlag ſeyn, die Hitzegrade aus den Schmelzpuncten verſchiedener Metalle abzunehmen. Die Schmelzpuncte des Silbers, Goldes und Platins liegen ſo weit aus einander, daß ſie recht wohl die fixen Puncte der Scala abgeben können, und für die Zwiſchengrade dienen die Schmelzpuncte verſchiedener Legirungen aus dieſen Metallen. Zwiſchen dem Schmelzpuncte des reinen Silbers und dem des reinen Goldes werden 10 Grade angenommen, und die zu ihrer Beſtimmung paſſenden Legirungen dadurch erhalten, daß man dem Silber ſucceſſiv immer 10 Proc. Gold zuſetzt. Zwiſchen den Schmelzpuncten des reinen Goldes und des Platins liegen 100 Grade, und man erhält die Legirungen, deren Schmelzhitze dieſen Graden entſpricht, indem man mit dem Golde ſucceſſiv 1 Proc. Platin verbindet. Es iſt kein Zweifel, daß dadurch, zumal wenn man die Schmelzpuncte mit Hülfe des Luftpyrometers nach ſpäter zu erklärenden Grundſätzen ein für allemal auf Thermometergrade reducirt, in die pyrometriſchen Beſtimmungen Uebereinſtimmung gebracht wird, und da man von den Metalllegirungen nur ſehr kleine Maſſen braucht (etwa von der Größe eines gemeinen Stecknadelkopfes), und jede derſelben ſehr oft benützt werden kann; ſo darf dieſes Verfahren mit Recht empfohlen werden.

Wedgewood's Pyrometer beſteht aus einer hinreichenden Anzahl kleiner Thoncylinder und einer Vorrichtung, ihre Dicke zu meſſen. Dieſe Vorrichtung (Fig. 4) wird von zwei convergirenden, etwa 12 Zoll langen Leiſten gebildet, die an einem Ende um 0,5 Zoll, am anderen um 0,3 Zoll von einander abſtehen, und zwiſchen welche obige Cylinder deſto weiter hineingeſchoben werden können, je kleiner ſie ſind. Die Leiſten ſind der Länge nach in 240 gleiche Theile getheilt, welche die Pyrometergrade vorſtellen. Die Cylinder werden aus eigens gemiſchtem Thone von Cornwallis gemacht, zuerſt alle von gleicher Größe

angetragen, und hierauf bei 100° C getrocknet. Schon beim Trocknen ſchwinden ſie ungleich, ſo daß wohl einige bis zum Nullpuncte der Scala mit der vorderen Kante zwiſchen die Leiſten geſchoben werden können, andere aber weiter, andere minder weit reichen. Um alle brauchen zu können, notirt man auf jedem Stücke die Zahl, um welche er zu klein oder zu groß iſt, und zwar erſtere an der vorderen, letztere an der hinteren, abgeſtumpften Seite, damit man beim Gebrauche darauf die gehörige Rückſicht nehmen könne. Die ſo regulirten Stücke werden hart gebrannt, und reichen dann meiſtens bis zum 5ten oder 7ten Grade. — Will man mit dieſem Inſtrumente eine hohe Temperatur beſtimmen, ſo ſetzt man einen ſolchen Thoncylinder derſelben aus, läßt ihn dieſe Temperatur annehmen, hierauf aber erkalten, wornach man ihn zwiſchen die Leiſten der Scale, ſo weit es angeht, einſchiebt, und den Grad ablieſt, der ſeiner Vorderfläche entſpricht, berückſichtigt aber dabei die am Cylinder notirte Correction. Schon einmal gebrauchte Stücke kann man noch fernerhin für höhere Temperaturen benützen. Nach Wedgewood entſpricht der Nullpunct der Scala einer Temperatur von 1077° F = 580° $^1/_2$ C und jeder Grad 132° F = 73° $^1/_3$ C. Nach Guyton Morveau ſtimmt aber der Nullpunct der W. Scala mit 517° F und jeder Grad mit 62° $^1/_2$ F überein. (Beſchreibung und Gebrauch eines Thermometers, die hohen Hitzgrade zu meſſen ꝛc., von J. Wedgewood. Aus dem Engliſchen London, 1786.)

40. Daß in allen materiellen Dingen Theile unterſchieden werden können, ergibt ſich ſchon aus der Eigenſchaft der Ausdehnung, die ihnen zukommt; daß aber dieſe Theile getrennt werden können, oder daß die Körper **theilbar** ſind, läßt ſich erſt aus der Erfahrung abnehmen. Dieſe lehrt, daß jeder Körper theilbar ſey; ob aber die Theilbarkeit ins Unendliche gehe, oder überhaupt, wie weit ſie gehe, läßt ſich auf dem Wege der Erfahrung nicht ausmachen. So viel iſt gewiß, daß einige Körper, wie z. B. die dehnbaren Metalle, die riechenden, leuchtenden und färbenden Stoffe durch Kunſt in erſtaunungswürdig kleine Theile getheilt werden können, weßwegen die Annahme, es gebe Theilchen die wir nicht durch unſere Sinne wahrzunehmen vermögen und die an ſich betrachtet, weiter theilbar ſind, nicht ungereimt erſcheint. An ſolche Theilchen die man mit dem Worte **Molekel** (molecula) zu bezeichnen pflegt, denkt man oft, wenn man von den kleinſten Körpertheilchen im Allgemeinen ſpricht.

Aus einem Gran Gold ſchlagen die Goldarbeiter Blättchen von 36 Quadratzoll Oberfläche; die Drahtzieher vergolden eine ſilberne Stange von 22 Zoll Länge und 1$^1/_4$ Linie Dicke mit einer Unze Goldes, und ziehen ſie dann zu einem Drahte aus, der 97 franzöſiſche Meilen lang iſt; wird er noch dazu platt gedrückt, ſo erlangt er gar eine Länge von 110 Meilen, und iſt doch allenthalben übergoldet, aber mit Blättchen, deren Dicke ſo gering iſt, daß nach Blacks Berechnung 14 Millionen erſt die Dicke eines Zolles geben, während eben ſo viele Blätter gemeinen Druckpapiers $^3/_4$ engliſche Meilen einnehmen. Platin läßt ſich durch ein eigenes, von Wollaſton angegebenes Verfahren zu Draht von $^1/_{30000}$ Zoll Dicke ausziehen. Silber läßt ſich zu Plättchen ausdehnen, wovon 8 Millionen auf einander gelegt erſt die Dicke von 1$^1/_4$ Linie haben, und ein 1 Gran ſchweres Silberklümpchen läßt ſich zu einem 60 Fuß langen Draht ausziehen. Ein kleines

Stück Moſchus erfüllt ein ſehr großes Zimmer mit ſeinem Geruche, ohne daß die verflüchtigten Theile durchs Gewicht erkannt werden können. Man nimmt an, daß 1 Gran 320 Quadrillionen Theile gebe, deren jeder den Geruchsſinn zu afficiren vermag. Mit Phosphor kann man eine Menge leuchtender Buchſtaben an eine Wand ſchreiben, ohne ihn merklich abzureiben. Ein Gran Karmin färbt 20 Pfund Waſſer merklich roth, und jedes als roth bemerkbare Theilchen hat nur die Größe $^1/_{30000000}$ Zoll. Löwenhoek zählte in einem Tropfen Stockfiſchmilch von der Größe eines Sandkornes 2 Millionen Thierchen. Man kennt mikroſkopiſche Thiere, deren Bau ſo zuſammengeſetzt iſt, wie der irgend eines größeren Thieres.

Einige ältere Naturforſcher meinten die Exiſtenz völlig untheilbarer materieller Theilchen poſtuliren zu müſſen und nannten ſelbe Atome. Dieſe Benennung wird auch gegenwärtig, jedoch in verändertem Sinne gebraucht, indem man darunter Theilchen verſteht, deren weitere Theilung nicht in Betrachtung kommt, wie ſpäter erklärt werden wird.

41. Durch die hier ins Auge gefaßte Theilung erhält man die Körpertheile mit den ſinnlichen Eigenſchaften, die ſie vor der Theilung im Körper zeigen, und wie ſie da neben einander, d. i. räumlich geſchieden erſcheinen. Durch gehöriges Aneinanderfügen derſelben müßte alſo der vorige Körper wieder zum Vorſchein kommen. Man nennt eine ſolche Theilung eine mechaniſche, weil ſie in der Regel durch Anwendung äußerer Gewalt, alſo durch mechaniſche Mittel, als: Schlagen, Stoßen, Mahlen, Schneiden, Hobeln, Raspeln, Feilen, Walzen u. dgl. zu Stande gebracht wird, wenn gleich es möglich iſt, die Körper auch durch ihnen eigene Kräfte, als durch Verdunſten, und durch ſpäter zu erklärende chemiſche Operationen, als Auflöſen eines Stoffes und nachheriges Fällen, in fein vertheiltem Zuſtande zu erhalten. Die Theile, die ſich durch mechaniſche Theilung ergeben, heißen Aggregattheile und ein Körper, in ſo fern man ſich denſelben aus ſolchen Theilchen beſtehend denkt, heißt ein Aggregat. Unterſcheiden ſich die Aggregattheile unter einander bloß durch Größe und Geſtalt, nicht aber durch die innere materielle Beſchaffenheit, ſo nennt man ſie gleichartige oder homogene, im Falle des Gegentheils ungleichartige oder heterogene. Ein Aggregat, welches lediglich aus homogenen Theilen beſteht, heißt ein gleichartiges; laſſen ſich aber darin ungleichartige Theile unterſcheiden, ſo wird es ein Gemenge genannt, und ſeine Theile heißen Gemengtheile. So iſt der Granit, der aus Quarz-Feldſpath- und Glimmerſtückchen zuſammen geſetzt iſt, eine Gemenge. Die kleinſten Aggregattheile eines Gemenges erſcheinen für ſich betrachtet offenbar als homogene Aggregate.

Nebſt der mechaniſchen Theilung gibt es noch eine chemiſche mittelſt derſelben wird ein homogenes Aggregat in ungleichartige Theile zerlegt, die ſich im Körper vor der Theilung nicht unmittelbar als räumlich geſchieden wahrnehmen laſſen, und oft mit Eigenſchaften auftreten, von denen derſelbe keine Spur zeigt. Nicht jeder Körper iſt chemiſch theilbar, daher kann von dieſem Gegenſtande im gegenwärtigen Kapitel keine Rede ſeyn.

42. Die Aggregattheile der Körper ſcheinen einander nicht bis zur Berührung genähert zu ſeyn, ſondern in großen Abſtänden von

einander erhalten zu werden, denn es können dieſe Abſtände manchmal ſogar deutlich wahrgenommen werden, oder ſie verrathen ſich durch mannigfaltige Erſcheinungen. Man ſagt dann, ein Körper beſitze Zwiſchenräume oder Poren. Meiſtens dehnt man dieſes auf alle Körper aus, und ſieht die Poroſität als eine allgemeine Eigenſchaft der Körper an, wiewohl es Körper gibt, bei denen gar kein anderer Grund für das Daſeyn von Poren vorliegt, als die Zuſammendrückbarkeit der Körper im Allgemeinen, die wegen der Undurchdringlichkeit der Theilchen nicht möglich wäre, wenn ſich dieſelben gänzlich berührten.

An vielen Körpern erkennt man die Zwiſchenräume ſchon mit freiem Auge, wie z. B. beim Korkholz; bei anderen Holzarten ſchließt man auf ihr Daſeyn daraus, daß man mittelſt der Hand oder einer Preſſe Queckſilber durchpreſſen kann; aus Eiern, Nußſchalen, ſelbſt aus dem ſogenannten Hydrophan (einem poröſen Steine) ſteigen Luftblaſen auf, wenn man ſie ins Waſſer legt, zum Beweiſe, daß die in den Zwiſchenräumen enthaltene Luft durch das Waſſer vertrieben wird, mithin zum Beweiſe des Daſeyns der Zwiſchenräume ſelbſt. Marmor läßt eine mit Firniß abgeriebene Farbe auf eine ziemliche Tiefe eindringen; tropfbar flüſſige Körper, z. B. Waſſer, Weingeiſt, ſaugen luftförmige Stoffe ein, und beurkunden dadurch ihre Poroſität. Wie groß die Anzahl der Zwiſchenräume in den Häuten der Thiere ſey (wenn es überhaupt erlaubt iſt, die feinen Gefäßenden an der Oberhaut Poren zu nennen), kann man aus dem Austreten des Schweißes, der Wirkſamkeit der Salben und Räucherungen ſchließen.

43. Jeder Körper ſtellt uns eine gewiſſe Art der Verbindung ſeiner Aggregattheile vor Augen, d. h. er beſitzt einen gewiſſen Aggregationszuſtand. Es gibt zwei Hauptformen dieſes Zuſtandes; in der einen erſcheinen die Körper feſt, in der anderen flüſſig. In der feſten Form zeigen ſich die Körpertheile dermaßen an die Stellungen gebunden, welche ſie unter einander inne haben, daß eine merkliche Kraft erfordert wird um daran eine Aenderung hervorzubringen. Es iſt wohl möglich das Volum oder wenigſtens einzelne Dimenſionen eines feſten Körpers zu verkleinern, allein ſogleich wird ein Widerſtand rege, der in viel größerem Maße zunimmt, als die Dimenſionen des Körpers abnehmen, und bald eine ſolche Höhe erreicht, daß ein weiteres Zuſammendrücken die Grenze unſerer Hilfsmittel überſchreitet, oder gar der Zuſammenhang der Körpertheile aufgehoben wird. Andererſeits werden wir, wenn wir die Dimenſionen eines feſten Körpers zu vergrößern ſtreben, gleichfalls einen Widerſtand gewahr, der bis zu einem gewiſſen Grade der Dehnung des Körpers wächſt, über welchen hinaus der Zuſammenhang der Körpertheile nicht beſtehen kann. In der flüſſigen Form dagegen geht die Verſchiebung der Körpertheile mit der größten Leichtigkeit an. Jedoch ſind hier zwei untergeordnete Aggregationsformen wohl zu unterſcheiden. Gewiſſe flüſſige Körper nämlich laſſen ſich nur äußerſt ſchwierig zuſammendrücken, ſo daß die größten Druckkräfte, welche wir zu Stande zu bringen vermögen, nur eine geringe Verkleinerung ihres Volums bewirken; ſie zeigen überdieß ein ſehr ſchwaches Aneinanderhaften der einzelnen Theilchen, das nur bei kleinen Mengen durch das Beſtreben die Kugelform anzunehmen

oder Tropfen zu bilden hervortritt, während größere Mengen ſich durch ihr Gewicht von einander trennen; ein ſolcher Körper erfüllt daher ſtets den tiefſten Theil des Gefäßes, in welches er gebracht wird. Man nennt flüſſige Körper der ſo eben beſchriebenen Art tropfbar flüſſige, kürzer tropfbare Körper, wohl auch in ſo fern man bei theoretiſchen Unterſuchungen von ihrer geringen Zuſammendrückbarkeit abſtrahirt, unzuſammendrückbare Flüſſigkeiten. Das Waſſer in ſeinem gewöhnlichen Zuſtande kann als Repräſentant dieſer Körperform dienen. Es gibt aber noch eine andere Form der Flüſſigkeit, in welcher die Körper ſich bedeutend zuſammendrücken laſſen und zugleich ein beſtändiges Beſtreben äußern, ein größeres Volum anzunehmen, ſo daß ſie in ein von allen Seiten geſchloſſenes Gefäß gebracht, dasſelbe ſtets ganz ausfüllen. Dabei zeigt ſich gar kein Aneinanderhaften der Theile. Man nennt flüſſige Körper dieſer Art ausdehnſam flüſſige, kürzer ausdehnſame. Man iſt ſeit langer Zeit her gewohnt, die ausdehnſamen Körper in Gaſe und in Dünſte einzutheilen, wovon erſtere bei jedem Drucke und bei jedem Kältegrade ausdehnſam bleiben ſollen, während letztere durch Zuſammendrücken und Erkalten in den tropfbaren Zuſtand übergehen. Als Repräſentanten der Gasform kann man die atmoſphäriſche Luft, als jenen der Dunſtform, den Waſſerdampf anſehen. In der neueren Zeit hat man aber die meiſten Körper, die man ſonſt für Gaſe hielt, tropfbar dargeſtellt, und es wahrſcheinlich gemacht, daß der Unterſchied zwiſchen Gaſen und Dünſten nicht weſentlich ſey. Weil es aber das Auffaſſen der Erſcheinungen erleichtert, wenn man die Stoffe, welche in der Regel im ausdehnſamen Zuſtande vorkommen, von jenen, die bald ausdehnſam bald tropfbar erſcheinen, auch durch die Bezeichnung unterſcheidet; ſo wollen wir diejenigen Gaſe nennen, welche bei der gewöhnlichen Temperatur und beim natürlichen Luftdruck ſtets ausdehnſam ſind, und mit dem Worte Dunſt diejenigen bezeichnen, welche unter dieſen Umſtänden ihre Ausdehnſamkeit nicht behalten.

44. Die Verſchiedenheit des Aggregationszuſtandes begründet für ſich allein genommen keine innere Verſchiedenheit der Körper, denn es kann derſelbe Körper ohne Aenderung ſeiner inneren Natur in allen drei Aggregationsformen erſcheinen, wie wir dieſes am Waſſer ſehen, das bald feſt als Eis, bald tropfbar, bald gar ausdehnſam als Waſſerdunſt erſcheint. Doch richten ſich die beſonderen Umſtände, unter welchen die eine oder die andere Aggregationsform auftritt, nach der Beſchaffenheit jedes einzelnen Stoffes. Die Umwandlung des Aggregationszuſtandes wird durch die Wärme oder durch einen Druck von beſtimmter Größe bewirkt. Durch Erhöhung der Temperatur bis zu einem von der Natur der Körper abhängigen Grade werden feſte Maſſen tropfbar flüſſig und tropfbare ausdehnſam, während durch Verminderung der Temperatur die entgegengeſetzten Erſcheinungen erfolgen. Wenn es uns auch nicht gelingt, alle Körper durch Erwärmung oder Erkältung in allen drei Zuſtänden darzuſtellen; ſo kann man doch immerhin annehmen, es fehlen uns bloß die Mittel, den

dazu nöthigen Wärme- oder Kältegrad zu erzeugen, ausgenommen die Fälle, in welchen Körper eher chemiſch zerſetzt werden, als ſich ihr Aggregationszuſtand ändert. Durch mechaniſchen Druck d. i. durch Verdichtung ohne gleichzeitige Erhöhung der Temperatur laſſen ſich viele ausdehnſame Körper in tropfbar flüſſige verwandeln. Vorzüglich wirkſam zeigt ſich diejenige Art der Compreſſion, welche ein ausdehnſamer Körper auf ſich ſelbſt ausübt, und die Faraday zuerſt mit beſtem Erfolge angewendet hat.

Faraday ſchloß den Stoff, welcher das Gas liefern ſoll, in eine hinreichend dicke Glasröhre luftdicht ein, und wendete hierauf das Mittel an, wodurch die Gasentwicklung hervorgebracht wird. Iſt dieſes kräftig genug und das Gefäß hinreichend ſtark, ſo wird anhaltend Gas erzeugt, und das bereits vorhandene bis zum tropfbaren Zuſtande verdichtet. Auf dieſe Weiſe haben Faraday und Niemann ſchwefelige Säure, Cyan, Chlor, Ammoniak, Chloroxyd, Schwefelwaſſerſtoff, Salzſäure, Kohlenſäure, Stickſtoffoxydul und chlorige Säure tropfbar, Thilorier Kohlenſäure in großer Menge nicht nur tropfbar, ſondern durch fernere Behandlung ſogar feſt dargeſtellt. (Gilb. Ann. 75. 335. Brande's Archiv 36. 175. Pogg. Ann. 36. 141.)

45. Die Verſchiedenheit des Aggregationszuſtandes läßt ſich nicht wieder aus Erſcheinungen herleiten; man nimmt daher zur Erklärung desſelben zu Kräften, welche die kleinſten Aggregattheile (Molekel) beherrſchen, zu den ſogenannten Cohäſions- oder Molecularkräften ſeine Zuflucht. Wir wollen vorläufig die Beſchaffenheit der Molekel ganz unbeſtimmt laſſen und bloß vorausſetzen, daß ſie ſehr klein ſind, unſeren Sinnen deßhalb entſchwinden und in Diſtanzen von einander ſtehen, die obgleich ſie die Dimenſionen der Molekel viele Male übertreffen mögen, dennoch durch unſere Sinne nicht aufgefaßt werden können. Der Widerſtand, den wir an jeder Aggregationsform bei Verkleinerung des Volums wahrnehmen, fordert die Annahme einer Abſtoßungskraft, welche die kleinſten Theile der Körper gegen einander äußern und deren Intenſität zunimmt, wenn dieſe Theile einander näher rücken. Eben ſo führen wir den Widerſtand, welchen wir bei der Trennung der Theile eines feſten Körpers zu überwinden haben, und der ſich ſelbſt an tropfbaren Flüſſigkeiten, gerade durch das Phänomen der Tropfenbildung und durch die dem Zerreißen ſich vergrößernder Tropfen vorangehende Dehnung kund gibt, auf die Wirkſamkeit einer zwiſchen den kleinſten Theilchen beſtehenden Anziehungskraft zurück. Die Abſtoßung wie auch die Anziehung, welche ſich nach Umſtänden zwiſchen den Körpertheilen äußert, geht nach dieſer Anſicht aus dem gleichzeitigen Walten beider einander bekämpfenden Kräfte hervor, wobei der Ausſchlag lediglich davon abhängt, ob die eine oder die andere Kraft das Uebergewicht behauptet. An den feſten Körpern finden wir bei der natürlichen Anordnung ihrer Theile dieſe Kräfte im Gleichgewichte; werden die Körpertheile einander genähert, ſo bekommt die abſtoßende, werden ſie von einander entfernt, die anziehende Kraft das Uebergewicht, bis entweder der Zuſammenhang der Theile aufhört, oder ein neues Gleichgewicht eintritt, wie in

der Folge ausführlicher erklärt werden wird. Alle Erfahrungen ſprechen dafür, daß die Wirkſamkeit der die Aggregationsformen bedingenden Kräfte auf unmerkliche Entfernungen eingeſchränkt iſt, ſo daß wenn auch dieſe Kräfte nicht bloß zwiſchen unmittelbar benachbarten Theilchen herrſchen, ſondern von einem jeden Theilchen ringsum auf viele hinter einander ſtehende ausgeübt werden, ſie dennoch nur in ſehr kleinen für unſere Sinne nicht wahrnehmbaren Diſtanzen, Effecte von merklicher Intenſität hervorbringen, hingegen bei meßbarer Entfernung der Theilchen keine wahrnehmbare Wirkung äußern. Deßhalb laſſen ſich von einander getrennte Theile harter Körper mit ſehr unebenen Flächen, z. B. Theile gebrochenen Glaſes, Holzes nicht wieder vereinigen, denn es iſt nicht möglich die Trennungsflächen einander gehörig zu nähern, während Körper mit glatten, gut an einander paſſenden Flächen, wie eben geſchliffene Glas- oder Metallplatten ſtark an einander haften, und die Vereinigung weicher Körper, dergleichen Wachs, Blei, glühendes Eiſen u. dgl. ſind, leicht angeht. Bei tropfbaren Flüſſigkeiten hat an der Oberfläche in vielen Fällen die abſtoßende Kraft, in unmeßbarer Diſtanz unter derſelben aber die anziehende Kraft das Uebergewicht. Letzteres wird durch das Vorhandenſeyn der Cohäſion tropfbarer Körper außer Zweifel geſetzt, erſteres beweiſet der Umſtand, daß die an der Oberfläche einer Flüſſigkeit liegenden Theilchen, wenigſtens bei nicht zu niederer Temperatur, alſogleich in ausdehnſamen Zuſtand übergehen, wenn nicht von Außen ein Druck auf ſie wirkt. In den gewöhnlichen Fällen bewirkt die atmoſphäriſche Luft dieſen Druck, im luftleeren Raume vertreten ſie aber bald die ſich bildenden Dünſte; im Inneren einer ſolchen Maſſe wird dem Beſtreben, ausdehnſam zu werden, noch durch den Druck der darüber befindlichen Theile Einhalt gethan. Um zu begreifen, wie beide entgegengeſetzte Kraftäußerungen neben einander beſtehen können, bedenke man, daß es allerdings möglich iſt, daß die zugleich vorhandenen einander bekämpfenden Kräfte ſich bei verſchiedener Entfernung der Theilchen, zwiſchen welchen ſie herrſchen, nach verſchiedenen Geſetzen ändern, mithin bei gewiſſer Entfernung zweier Theilchen die eine, bei anderer Entfernung die andere Kraft das Uebergewicht hat. An ausdehnſamen Flüſſigkeiten herrſcht die abſtoßende Kraft entſchieden vor, woraus die Eigenthümlichkeit dieſer Körperform leicht erklärbar iſt, was die Folge ausführlicher darthun wird.

46. Man muß bei Betrachtungen dieſer Art die Thatſachen von den zu ihrer Erklärung gemachten Annahmen wohl unterſcheiden. Die Molecularanziehung iſt keine Hypotheſe, ſondern ein ſo wohl begründetes Factum, daß man ſelbe als eine allgemeine Eigenſchaft der Körper zu betrachten hat. Ein gleiches gilt von der Molecularabſtoßung. Alle Körper zeigen aber außer der unter ihren eigenen Theilchen obwaltenden Anziehung auch noch eine beſondere Einwirkung auf die Theilchen anderer Körper, welche ſich durch das Aneinanderhaften heterogener Körper, die ſogenannte Adhäſion, äußert. Sie tritt insbeſondere, wie unzählige Erſcheinungen lehren, bei der Berührung

ſowohl feſter Körper mit tropfbaren oder ausdehnſamen Flüſſigkeiten, als auch flüſſiger Körper jeder Art unter einander entſchieden hervor. Läßt man z. B. einen Waſſertropfen auf eine reine Glasplatte fallen, ſo ſieht man ihn aus einander fließen und die ihm urſprünglich eigenthümliche Kugelform verlieren; auf einer fetten Platte zeigt er ſich aber, wenn er nicht zu groß iſt, völlig in ſeiner ſphäriſchen Geſtalt. Was der Waſſertropfen auf einer reinen Glas- oder vielmehr auf einer Salzplatte, das zeigt ein Queckſilbertropfen auf einer Zinntafel, während er ſich auf Glas ſo verhält, wie Waſſer auf einer Fettſchichte. Das Naßwerden eines Körpers in verſchiedenen Flüſſigkeiten bezeuget eben ſo, wie der vorige Fall, die Anziehung zwiſchen ihm und den Flüſſigkeiten. Bringt man eine Scheibe mit der Oberfläche einer ruhigen Flüſſigkeit, die in einem weiten Gefäße enthalten iſt, in Berührung, und verſucht ſie dann wieder wegzunehmen; ſo erfährt man einen Widerſtand, der bei derſelben Flüſſigkeit mit dem Durchmeſſer der Scheibe und mit dem Sinken der Temperatur wächſt. So wie man die Scheibe hebt, zieht man mit ihr zugleich eine Säule der Flüſſigkeit bis zu einer beſtimmten Grenze in die Höhe; wird dieſe überſchritten, ſo reißt ſich die Flüſſigkeit los. Um ſie an dieſer Grenze im Gleichgewichte zu erhalten, braucht man eine Kraft, die dem Gewichte der Scheibe und der gehobenen flüſſigen Säule gleich kommt. Dieſe Kraft äußert ſich nur auf eine ſehr geringe Entfernung; denn die Größe des Gewichtes, wodurch eine ſolche Scheibe von der Flüſſigkeit losgeriſſen wird, hängt gar nicht von der Dicke, und wenn die Scheibe von der Flüſſigkeit benetzt wird, gar nicht von dem Materiale der Scheibe ab, und wird durch Ueberziehen der Scheibe mit der dünnſten Fettſchichte gänzlich abgeändert. (Vergl. Frankenheim in Pogg. Ann. 37. 409.) Es herrſcht auch zwiſchen verſchiedenen tropfbaren Flüſſigkeiten eine Adhäſion, deren Stärke von der Natur derſelben abhängt. Ein Tropfen fettes Oehl breitet ſich auf einer Waſſerfläche ſchnell aus, wird aber durch flüchtiges Oehl verdrängt und dieſes wieder durch milchartige Pflanzenſäfte oder durch Weingeiſt überwältiget, zum Beweiſe, daß unter dieſen Körpern fettes Oehl die kleinſte, Weingeiſt die größte Adhäſion zum Waſſer habe. (Carradori in Voigt's Magazin B. 2. S. 1.) Vielleicht gehören auch Brown's Molecularbewegungen (Pogg. Ann. 14. 294) hieher. Zwiſchen Gaſen und feſten und tropfbaren Körpern findet eben ſo eine Adhäſion Statt, wie zwiſchen feſten und tropfbaren, denn wie wäre ſonſt erklärbar, daß Luft ſo hartnäckig an Glas haftet, und nur durch große Hitze vertrieben werden kann, was man beſonders bei dem Erhitzen tropfbarer Flüſſigkeiten, die man luftleer machen will, z. B. Queckſilber, in engen Gefäßen oder Röhren erfährt, wobei ſich fortwährend Luft an den Wänden zeigt, die ſich nur mühſam losmacht. An der Oberfläche eines jeden feſten Körpers iſt eine Schichte von dem Gaſe, das ihn umgibt, verdichtet, und kann zunächſt am Körper ſogar tropfbar ſeyn, wenn dazu überhaupt ein mäßiger Druck hinreicht. Die Menge der ſo verdichteten Luft muß ſich natürlich nach der Adhäſion, die zwiſchen

dem Körper und dem Gaſe Statt findet, und nach der Größe der Oberfläche richten. Poröſe oder gepulverte Körper bieten ſelbſt bei einer kleinen Maſſe einem Gaſe eine ſehr große Oberfläche dar (die Oberfläche aller Poren eines Stückes Holzkohle von der Größe eines Kubikzolles kann über 100 Q. Fuß betragen); findet nun zwiſchen einem Gaſe und einem ſolchen Körper eine Adhäſion Statt, ſo muß letzterer eine gewiſſe Menge dieſes Gaſes einſaugen oder abſorbiren. Man bemerkt dieſes in der That an friſch geglühter und in Queckſilber abgelöſchter Kohle, an poröſem Holz, Meerſchaum, Wollen- und Seidenzeugen, an Platinpulver (Platinſchwamm) und an vielen Flüſſigkeiten, namentlich an den Sauerwäſſern, muſſirenden Weinen, Bouteillenbier u. dgl.

Man benutzt die Adhäſion zwiſchen feſten und tropfbaren Körpern zu den mannigfaltigſten Zwecken und bei vielen techniſchen Arbeiten, z. B. beim Leimen, Kitten, Schreiben, Anſtreichen, Malen, Zeichnen, Lithographiren; auch Vera's Seilmaſchine zum Waſſerheben beruht darauf. Dieſe beſteht aus einem oder mehreren Stricken ohne Ende, die um zwei über einander befindliche Wellen gehen. Die untere Welle befindet ſich in dem Waſſerbehälter, die obere an der Stelle, wohin das Waſſer gehoben werden ſoll. Letztere läßt ſich mittelſt einer Kurbel um ihre Axe drehen, und nimmt bei der Bewegung die Stricke mit ſich fort. Wird ſchnell genug gedreht, ſo erſcheint der ganze aufſteigende Arm des Strickes mit Waſſer umgeben, welches beim Wenden desſelben in einem eigenen Behälter geſammelt werden kann. Aus der hier beſprochenen Anziehung erklärt ſich auch das Herabfließen mancher Flüſſigkeiten an der äußeren Wand des Gefäßes, worin ſie enthalten ſind, wenn man ſie langſam ausgießen will, und der Nutzen der Ausgußſchnäbel und der auswärts gebogenen Ränder ſolcher Gefäße. Auf der Adhäſion beruht auch die Bewegung des ſchottiſchen Drehers, eines Körpers, der wie eine Glaslinſe mit der convexen Unterfläche auf einer geneigten Glastafel liegt. Iſt dieſe Platte trocken, ſo bewegt er ſich auf derſelben, ohne irgend ein auffallendes Phänomen, abwärts; wird aber an die Stelle, wo er ſich befindet, ein Waſſertropfen gebracht, der ſich ausbreitet und die convexe Fläche ſo umſchließt, daß er daſelbſt einen Meniskus bildet: ſo beginnt der Körper ſich in drehender Bewegung abwärts zu bewegen, und kann durch Neigen der Glastafel nach dieſer oder jener Seite beliebig herumgeführt werden. Dieſe und noch viele andere Erſcheinungen, bei denen Adhäſion ins Spiel tritt, als: der ſtarke Zuſammenhang zwiſchen zwei angefeuchteten oder nur angehauchten und dann zuſammengeſchobenen Glasplatten, oder jener zweier Metallplatten, die mit flüſſigem Fett überſtrichen und hierauf der Kälte ausgeſetzt werden, damit das Fett ſtocke (Muſchenbroek's Cylinder); ferner das Zuſammenbacken feiner feuchten Erdtheile zu einer ſoliden Maſſe (Sandſtein), die Schwierigkeit naſſe Papierblättchen von einander zu trennen, welcher Umſtand überhaupt bei dem Feſtwerden der Körper eine große Rolle zu ſpielen ſcheint; das Aufſteigen des Waſſers in engen Röhren, in Sand, des Weingeiſtes, Oehles in den Lampendochten, und unzählige ähnliche, machen eine eigene Claſſe aus, welche man unter der gemeinſchaftlichen Benennung »Capillarphänomene« zuſammenfaßt, und deren genauerer Betrachtung ein beſonderer Abſchnitt dieſes Buches gewidmet iſt.

47. Die Erſcheinungen der Adhäſion laſſen ſich eben ſo wenig als die früher betrachteten des Aggregationszuſtandes (der Cohäſion)

auf andere Erſcheinungen reduciren; nimmt man nun zur Erklärung dieſer das Vorhandenſeyn von Molecularkräften an, ſo iſt es naturgemäß, auch jene auf ähnliche Weiſe zu erklären. Man ſetzt demnach voraus, daß nicht bloß zwiſchen gleichartigen, ſondern auch zwiſchen ungleichartigen kleinſten Aggregattheilen anziehende und abſtoßende Kräfte walten, deren Intenſitäten unter übrigens gleichen Umſtänden von der materiellen Beſchaffenheit dieſer Theilchen abhängen, nur in unmeßbar kleinen Diſtanzen eine merkliche Wirkung zur Folge haben, in meßbaren Diſtanzen dagegen völlig verſchwinden.

Ob dieſe Kräfte der Materie als ſolcher weſentlich zukommen, ſo daß ohne ſie die Materie gar nicht beſtehen könnte, wie z. B. die Dynamiſten behaupten, nach deren Anſicht die Materie ſelbſt nur das Reſultat der Wechſelwirkung der einander hemmenden Anziehungs- und Abſtoßungskraft ſeyn ſoll, und welche in dem Phänomen der Undurchdringlichkeit den reinen Ausdruck der Anweſenheit der abſtoßenden Kraft ſehen: oder ob auch ohne genannte Kräfte eine den Raum mit Undurchdringlichkeit erfüllende Subſtanz möglich wäre, wie die Atomiſten annehmen, läßt ſich nicht entſcheiden Einige Phyſiker ſehen nur die Anziehungskraft als eine der Materie ſelbſtſtändig eigene an, und ſetzen den Grund der Abſtoßung in die Anweſenheit eines die Molekel umgebenden beſonderen Agens, dem ſie unter andern vornehmlich die Vermittelung der Erſcheinungen der Wärme zuſchreiben. In welchem Zuſammenhange mit derlei Anſichten die Vorſtellung ſteht, die man ſich von dem Weſen der chemiſchen Vereinigung heterogener Stoffe macht, wird im folgenden Kapitel näher erörtert werden.

48. Außer der Molecularanziehung ſind die Körper noch dem Beſtreben zur Erde zu fallen unterworfen. Man nennt es die Schwere, und rechnet dieſe zu den allgemeinen Eigenſchaften der Körper. Dem Rauche, den Wolken u. dgl. kann man eben ſo wenig die Schwere abſprechen, weil ſie in der Luft aufwärts ſteigen, als man ſie einem Stücke Korkholz abſpricht, weil es ſich im Waſſer erhebt. Daß die Schwere den Körpern nicht als Ganzen, ſondern allen ihren Theilen zukomme, lehrt der Umſtand, daß man bei der Theilung derſelben in die kleinſten Stücke jedes ſchwer findet. Die Richtung eines frei fallenden Körpers heißt vertical. Sie wird durch einen biegſamen, von einem ſchweren, frei hängenden Körper geſpannten Faden angezeigt. Eine darauf ſenkrechte Linie oder Ebene heißt horizontal. Der Erfahrung gemäß ſind die verticalen Richtungen in nicht weit von einander entfernten Orten parallel; in weit von einander entfernten convergiren ſie gegen die Erde zu. An demſelben Orte oder in nicht weit von einander entfernten Orten fallen, in einem nicht widerſtehenden Mittel, alle Körper gleich ſchnell (wie mehrere in der Folge vorkommende Erfahrungen zeigen werden), es ſind daher alle gleich ſchwer. Die Schwere eines Körpers ändert ſich nicht mit der Zeit, wohl aber von Ort zu Ort, ſie wird näher gegen den Aequator der Erde kleiner, näher gegen die Pole größer; in einerlei Verticallinie nimmt ſie in größerer Entfernung vom Erdmittelpuncte ab. Man ſieht die Erſcheinungen der Schwere als Erfolg einer anziehenden Kraft an, welche die Erde auf alle Körper ausübt, und die deßhalb Schwer-

kraft genannt wird. Dieſe Kraft läßt ſich auf die Anziehung aller Theilchen der Erde gegen alle Theilchen der Körper, die in, auf oder über ihr ſich befinden, zurückführen, und iſt nicht einmal auf die irdiſchen Körper beſchränkt, ſondern findet zwiſchen je zwei materiellen Theilchen in dem Himmelsraume Statt, in welcher Ausdehnung ſie die allgemeine Schwere oder Gravitation heißt.

49. Der Druck, den ein Körper auf ſeine horizontale Unterlage vermög ſeiner Schwere ausübt, heißt ſein Gewicht. In ſofern man alle Theile eines Körpers als gleich ſchwer betrachten darf, kann man im Einklange mit dem in 33 Geſagten das Gewicht P deſſelben ſeiner Maſſe M und der Geſchwindigkeit g, welche die Schwere an dem Orte, wo er ſich befindet, während der Zeit 1 erzeugt, proportionirt ſetzen, ſo daß:

$$P = gM \ldots (1)$$

iſt. Hier ſtellt g zugleich das Gewicht der Maſſe 1 vor, und das Gewicht der Maſſe, welche den numeriſchen Werth $\frac{1}{g}$ hat, iſt die Einheit der Gewichte. Da an demſelben Orte, wo g conſtant iſt, die Gewichte zweier Körper ſich wie ihre Maſſen verhalten, ſo dienen die Gewichte zur Vergleichung der Maſſen. In dieſem Sinne ſieht man das Gewicht als das wahre Maß der Maſſe eines Körpers an, und beſtimmt letztere durch erſteres. Man kann, da es ſich hierbei um bloße Verhältniſſe handelt, ſogar von der Gewichtseinheit, welche obiger Formel zum Grunde liegt, abgehen, und wie es im gemeinen Leben geſchieht, ein beliebiges Gewicht als Einheit annehmen, und mittelſt Abwägen finden, wie vielmal dieſe Einheit in dem zu unterſuchenden Gewichte enthalten iſt.

Durch Mittel, die jedoch erſt in der Folge erklärt werden können, hat man gefunden, daß in Wien ein im leeren Raume freifallender Körper am Ende der erſten Secunde ſeiner Bewegung eine Geſchwindigkeit von 31,03 Wiener Fuß erhält, d. h. daß er ohne Mitwirkung der Schwere lediglich wegen ſeiner Trägheit in der nächſten Secunde denſelben angegebenen Weg durchlaufen würde. Es iſt alſo für Wien, wenn der Fuß als Längeneinheit und die Secunde als Zeiteinheit gewählt wird, $g = 31{,}03$.

In Frankreich hat man das Gewicht eines Kubikcentimeters reinen Waſſers bei einer Temperatur von 2°,7 R. als Einheit angenommen und Gramme genannt. Ein Zehntel, Hundertel, Tauſendtel davon heißt Decigramme, Centigramme, Milligramme; das Zehnfache, Hundertfache, Tauſendfache deſſelben Dekagramme, Hektogramme, Kilogramme. Gewöhnlich nimmt man einen Zentner, ein Pfund, ein Loth ꝛc. als Einheit des Gewichts an; in jedem Lande iſt die Größe einer ſolchen Einheit beſtimmt. Ein Wiener Pfund (32 Loth jedes zu 240 Gran) hält 560012 Milligramme, mithin ein Gramme 13,714 Gran und ein Kilogramm 1 Pfund 25 Loth 33,9917 Gran des Wiener Gewichtes. Ein Pariſer Pf. hält 489506 Milligr., ein engl. Pf. (Troy-w.) 373202 Milligr., ein preuß. Pf. 467711 Milligr., und ein bayr. Pf. 560000 Milligr. Unter dem Ausdrucke: Einheit des Gewichtes, oder Gewicht = 1 ſoll in der Folge ſtets ein Wiener Pfund verſtanden werden, wenn nicht ausdrücklich ein anderer Werth feſtgeſetzt wird.

50. Jedes Inſtrument, das zur Beſtimmung des Gewichtes eines Körpers dient, heißt eine Wage. Ohne hier in die Betrachtung der zweckmäßigſten Conſtruction eines ſolchen Inſtrumentes näher einzugehen, was einem ſpäteren Orte vorbehalten bleibt, läßt ſich doch von dem Verfahren des Abwägens, und zwar in der genaueſten Form, in der es der Phyſiker handhabt, ein allgemeiner Begriff geben. Von der Wage wird bloß verlangt, 1) daß ihre Anzeigen conſtant ſeyen, d. h. daß ſich an ihr ein früher unterſuchtes Gewicht wieder erkennen laſſe, und 2) daß ſie eine hinreichende Empfindlichkeit beſitze, d. h. daß ſie Aenderungen am Gewichte, die man bei dem zu erreichenden Grade der Genauigkeit nicht vernachläßigen darf, ſichtbar mache. Iſt nun das Gewicht eines Körpers zu beſtimmen, ſo bringt man ihn an die Wage, bemerkt die dadurch unmittelbar oder mit Beihülfe einer beſonderen Einwirkung mittelbar hervorgerufene Indication, nimmt ſodann den Körper weg, und ſetzt an ſeine Stelle, ohne an der Wage ſonſt etwas zu ändern, ſo lange Gewichte, bis der frühere Stand wieder erſcheint. Die Summe dieſer Gewichte iſt offenbar dem Gewichte des Körpers gleich, und zeigt daher letzteres an.

51. Vergleicht man die Gewichte zweier gleichartigen Körper von verſchiedenem Volum bei gleicher Wärme, ſo findet man, daß ſie im geraden Verhältniſſe mit den Rauminhalten ſtehen, und man kann daher dasſelbe auch von ihren Maſſen ſagen. Dieſes iſt aber in der Regel bei ungleichartigen Körpern nicht der Fall. Man nennt denjenigen, der unter demſelben Volum mehr Gewicht hat, als ein anderer, im Einklange mit der Vorſtellung, daß dieſes von der größeren Menge Materie in demſelben Raume herrühre, dichter, und zwar in demſelben Verhältniſſe, als er mehr Gewicht beſitzt. Um die Dichten der Körper bequem durch Zahlen ausdrücken zu können, nimmt man die größte Dichte, welche reines Waſſer haben kann (die Dichte deſſelben bei 3° R.), zur Einheit an, und gibt der Dichte jedes andern Körpers den Zahlwerth, welcher anzeigt, wie oft ſeine Maſſe die des Waſſers unter demſelben Volum in ſich enthält. So drückt man z. B. die Dichte des Goldes durch 19 aus, weil ein Volum deſſelben 19mal mehr Maſſe hat, als ein gleich großes Volum Waſſer. Man ſagt von einem Körper, er ſey gleichförmig dicht, wenn gleiche Raumtheile deſſelben gleich viel Maſſe enthalten; findet das Gegentheil Statt, ſo heißt er ungleichförmig dicht. Stellt man ſich die Materie eines ungleichförmig dichten Körpers in ſeinem Volum gleichförmig vertheilt vor, ſo iſt die daraus hervorgehende Dichte die mittlere Dichte des Körpers; dieſe meint man, wenn man von der Dichte im Allgemeinen ſpricht.

52. Es iſt der Einfachheit der Formeln wegen zweckmäßig, für die Einheit der Maſſen, welche wir bis jetzt noch unbeſtimmt gelaſſen haben, diejenige anzunehmen, welche der Körper, deſſen Dichte wir = 1 ſetzen, nämlich das reine Waſſer im dichteſten Zuſtande, unter dem Volum 1 darbietet. Dieß vorausgeſetzt ſtimmt der Zahlwerth der Dichte eines Körpers mit jenem ſeiner Maſſe unter dem Volum 1 überein,

und man hat überhaupt, wenn M die Maſſe, V das Volum, D die Dichte eines Körpers bedeutet, die Gleichung

$$M = VD \ldots (2).$$

Hierdurch verwandelt ſich die oben (49) gegebene Formel (1) in

$$P = gVD \ldots (3).$$

Das Gewicht eines Körpers ohne Rückſicht auf ſeinen Rauminhalt nennt man ſein absolutes Gewicht. Dasjenige hingegen, welches zum Vorſchein kommt, wenn das Volum 1 mit Materie von der mittleren Dichte eines Körpers erfüllt wird, heißt das eigenthümliche oder ſpecifiſche Gewicht dieſes Körpers. Setzt man daher in (3) $V = 1$, ſo erhält man gD als Ausdruck für das ſpecifiſche Gewicht. Bezeichnet man dieſes mit S, ſo hat man

$$P = VS, \text{ woraus } S = \frac{P}{V} \text{ und } V = \frac{P}{S} \ldots (4)$$

folgt. Dieſe Formel gilt offenbar für jede beliebige Einheit der Gewichte. Haben für einen zweiten Körper d und s dieſelbe Bedeutung, wie für den erſten D und S, ſo wird für einerlei Werth von g,

$$S : s = D : d,$$

oder es verhalten ſich die ſpecifiſchen Gewichte wie die Dichten. Iſt s das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers, mithin $d = 1$, ſo folgt aus dieſer Proportion für das ſpecifiſche Gewicht jedes andern Körpers die Formel

$$S = Ds \ldots (5)$$

und ihr gemäß aus (4)

$$P = VDs \ldots (6).$$

Dieſe letztere Gleichung gibt $D = \frac{P}{Vs}$, und weil nach (4) Vs das Gewicht des Waſſers unter dem Volum V, d. i. unter dem Volum des Körpers ausdrückt, ſo iſt, wenn wir $Vs = p$ ſetzen

$$D = \frac{P}{p} \ldots (7).$$

Da man der Formel (5) zu Folge das ſpecifiſche Gewicht eines Körpers aus ſeiner Dichte durch Multiplication mit einem fixen Factor erhält, ſo erlaubt man ſich in flüchtiger Rede oft das ſpecifiſche Gewicht mit der Dichte zu verwechſeln.

53. Um das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers zu finden, kann man ein Gefäß von genau bekanntem Inhalte v mit Waſſer füllen und beſtimmen, wie viel es davon dem Gewichte nach faßt. Iſt dieſes Gewicht $= p$, ſo hat man nach (4) $s = \frac{p}{v}$. So zeigt ſich das Gewicht eines Wiener Kubikzolles reinen Waſſers bei 3° R. = 250,56 Wiener Gran.

Das Gewicht eines Wiener Kubikfußes reinen Waſſers bei 3° R. beträgt 432977,22 Wiener Gran. Die Einheit der Gewichte, welche der Formel (1) in 49 für $g = 31{,}03$ W. Fuß zum Grunde liegt, enthält daher 13953,5 W. Gran oder 1 Pf. 26 Lth. 33,5 Gr.

54. Will man die Dichte eines tropfbar flüſſigen Körpers mit

jener des Waſſers vergleichen, ſo fülle man ein Fläſchchen mit genau paſſendem Stöpſel, ohne einen Raum leer zu laſſen (zu welchem Behufe der Stöpſel einen feinen Kanal zum Austreten der Flüſſigkeit haben kann), ſorgfältig einmal mit Waſſer, das andere Mal mit der Flüſſigkeit, und beſtimme jedesmal das Gewicht des Inhaltes. Die Dichte der Flüſſigkeit iſt nach (52,7) der Quotient der Diviſion des letzteren Gewichtes durch erſteres, das man ein für alle Mal am Fläſchchen notiren kann. Zur Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes eines feſten Körpers, der ſich im Waſſer nicht auflöſt, ſuche man das Gewicht des Körpers und das Gewicht des Waſſers, welches der Körper aus dem Fläſchchen heraustreibt. Letzteres Gewicht erhält man, wenn man von der Summe der Gewichte des Körpers und des mit Waſſer gefüllten Fläſchchens das Gewicht des Fläſchchens, nachdem der Körper in ſelbes gebracht und der übrige Raum mit Waſſer ausgefüllt worden iſt, ſubtrahirt. Das Gewicht des vom Körper verdrängten Waſſers iſt jenem gleich, welches in der Formel (7) mit p bezeichnet wurde, die Dichte des Körpers iſt daher der Quotient aus der Diviſion ſeines Gewichtes durch das Gewicht dieſes Waſſers. Sollte der Körper im Waſſer löslich ſeyn, ſo gebrauche man ſtatt des Waſſers eine andere Flüſſigkeit von bekannter Dichte d, worin er ſich nicht löſet. Iſt P das Gewicht des Körpers, deſſen Dichte D verlangt wird, p das Gewicht der von ihm verdrängten Flüſſigkeit, ſo iſt offenbar $\frac{D}{d} = \frac{P}{p}$, mithin $D = \frac{P}{p} . d$. Die Beſtimmung der Dichte ausdehnſamer Flüſſigkeiten wird nebſt andern Methoden zur Ausmittelung der Dichte feſter und tropfbarer Körper ſpäter gelehrt werden. Genaue Reſultate erfordern gehörige Rückſicht auf Temperatur.

55. Vergleicht man die hier betrachteten ſogenannten allgemeinen Eigenſchaften der Körper unter einander, ſo ſieht man leicht, daß ſelbe nicht einerlei Rang behaupten. Ausdehnung und Undurchdringlichkeit ſind Bedingungen der Wahrnehmbarkeit der Körper, müſſen alſo nothwendig bei jedem materiellen Dinge, das als ſolches erkannt werden ſoll, vorhanden ſeyn: Trägheit und Beweglichkeit ſind weſentliche Merkmale alles Materiellen, aber nur durch Erfahrung gegeben: Ausdehnbarkeit und Zuſammendrückbarkeit, Theilbarkeit, Molecularanziehung und Abſtoßung, und jene Wirkung in die Ferne, die man Schwere oder Gravitation nennt, ſind reine Erfahrungseigenſchaften, die zwar die vorhandene Beſchaffenheit der Sinnenwelt weſentlich bedingen, aber zum Beſtehen der Materie, wenigſtens nach dem empiriſchen Begriffe, den wir uns von derſelben machen, nicht abſolut nothwendig erſcheinen. Außer den vorgenannten zeigen die Körper noch manche andere Eigenſchaften, die, weil man ſie an allen Körpern findet, auch als allgemeine angeſehen und unter denſelben abgehandelt werden könnten, z. B. die Fähigkeit unter den gehörigen Umſtänden ſichtbar zu ſeyn, jederzeit eine gewiſſe Temperatur zu beſitzen, elektriſch werden zu können u. dgl. Allein man bezieht die Erſcheinungen, durch

welche ſich derlei Eigenſchaften ankündigen, auf die Exiſtenz eigener, in allen Körpern vorhandenen oder dieſelben umgebenden Materien, und es ſind ſolcher Anſicht gemäß die Eigenſchaften dieſer überall vorhandenen materiellen Weſen die Urſache des erwähnten allgemeinen Verhaltens der Körper. Man kann dieſe in ihren Wirkungen ſo deutlich ſich kund gebenden, in ihrer Weſenheit ſo geheimnißvollen Materien der Herrſchaft des Taſtſinnes nicht unterwerfen, und eben ſo wenig an der Wage erſichtlich machen, wiewohl man denſelben keine der Eigenſchaften der taſtbaren Materie abſpricht. Man nennt dieſelben in Folge deſſen unwägbare Materien, und es iſt ihrer Betrachtung der zweite Theil des vorliegenden Werkes gewidmet, während der erſte ſich auf die Erſcheinungen beſchränkt, welche lediglich durch wägbare Subſtanzen vermittelt werden.

Zweites Kapitel.

Materielle Verſchiedenheit der Körper.

56. Eine nur oberflächliche Betrachtung der Körper zeigt, daß nicht alle Verſchiedenheit derſelben von der Verbindungsweiſe ihrer kleinſten Theile herrühre, ſondern daß man auch materielle, d. h. in dieſen Theilchen ſelbſt liegende Verſchiedenheiten annehmen müſſe. Man bezeichnet die Materie eines Körpers, lediglich in Hinſicht auf ihre innere Beſchaffenheit betrachtet, mit dem Worte Stoff. Waſſer und Weingeiſt, Silber und Platin ſind verſchiedene Stoffe, die kein Aufmerkſamer, ungeachtet des gleichen Aggregationszuſtandes und einer gewiſſen Aehnlichkeit der äußeren Erſcheinung, mit einander verwechſeln wird. Nicht minder gewiß iſt es auch, daß verſchiedene Stoffe unter günſtigen Umſtänden ſich zu einem völlig gleichartigen Ganzen mit einander verbinden, worin die Theilchen dieſer Stoffe nicht unmittelbar ſinnlich wahrnehmbar ſind. Man nennt den Act einer ſolchen Vereinigung hetrogener Stoffe, wie auch das daraus entſpringende Product im Allgemeinen eine chemiſche Verbindung oder Miſchung, und die Stoffe, woraus letzteres gebildet worden, ſeine chemiſchen Beſtandtheile. Der Grund, aus welchem die Vereinigung der Beſtandtheile erfolgt, heißt überhaupt chemiſche Anziehung, chemiſche Verwandtſchaft oder Affinität. Die Wiſſenſchaft, welche die Stoffe hinſichtlich ihrer Affinität betrachtet, führt den Namen Chemie. Vergleicht man die Eigenſchaften eines durch chemiſche Verbindung entſtandenen Stoffes mit jenen ſeiner Beſtandtheile, ſo geben ſich zwei verſchiedene Formen der chemiſchen Verbindung zu erkennen. Entweder trägt das Reſultat der Verbindung die charakteriſtiſchen Eigenſchaften der Beſtandtheile an ſich, oder es iſt ein ganz neuer Stoff entſtanden, in deſſen Beſchaffenheit keine Spur der Eigenſchaften der Beſtandtheile erkennbar iſt. Im erſten Falle heißt die chemiſche Verbindung eine Auflöſung, im letzteren dagegen eine chemiſche Miſchung, wohl auch eine chemiſche Verbindung im engern Sinne

des Wortes. Bei einer Auflöſung betrachtet man einen Stoff als den **auflöſenden**, oder als das **Auflöſungsmittel**, jeden andern aber als **aufgelöſten**. Verbindet ſich ein feſter Körper mit einem flüſſigen, ſo gilt letzterer als das Auflöſungsmittel.

Bringt man z. B. Kochſalz in Waſſer, ſo verſchwindet das Kochſalz allmälig, und man hat eine ſogenannte Kochſalzlauge vor ſich, deren Eigenſchaften von jenen des Waſſers nur in ſo weit abweichen, daß dieſes den Geſchmack und das ſonſtige Verhalten des Kochſalzes angenommen hat. Hier iſt alſo eine Auflöſung des Kochſalzes im Waſſer vor ſich gegangen. Die Uebereinſtimmung des Geſchmackes der Salzlauge mit dem des Kochſalzes wird leicht begreiflich, wenn man bedenkt, daß überhaupt ein feſter Körper nur in ſo fern auf unſer Geſchmacksorgan einwirkt, als ſich Theile deſſelben im Speichel auflöſen. Kommt dagegen Queckſilber mit ſchmelzendem Schwefel in Berührung, ſo verbinden ſich dieſe Stoffe zu einer feſten Subſtanz, welche ſublimirt, d. h. in einem geräumigen Gefäße bis zum Uebergange in die ausdehnſame Form erhitzt und durch Abkühlung an den kälteren Stellen des Gefäßes wieder in die feſte Form zurückgeführt, eine hochrothe Farbe annimmt. Man nennt dieſe Subſtanz Zinnober. An demſelben erkennt man aber weder die Eigenſchaften des Schwefels, noch die des Queckſilbers, ſondern er iſt als ein von beiden weſentlich verſchiedener Stoff anzuſehen. Hier haben ſich alſo Schwefel und Queckſilber im ſtrengſten Sinne des Wortes chemiſch mit einander verbunden. In der Kochſalzlöſung laſſen ſich auch mit Hülfe des beſten Mikroſkops die Salztheilchen nicht neben den Waſſertheilchen wahrnehmen, und noch weniger iſt dieß mit den Queckſilber- und Schwefeltheilchen im Zinnober der Fall, wie fein man ihn auch immer zu Pulver zerreiben mag. Auch bekommt man durch bloßes Zuſammenſchütteln fein gepulverten Schwefels mit Queckſilber keinen Zinnober, ſondern bloß ein Gemenge, in dem die Theilchen des Queckſilbers und Schwefels neben einander geſehen werden können, und ſich, wenn man das Gemenge mit Waſſer behandelt, ihrer verſchiedenen ſpecifiſchen Schwere wegen von einander ſondern, was bei dem Zinnober nicht der Fall iſt.

57. Die Bedingungen der Exiſtenz der Stoffe, welche eine chemiſche Verbindung eingehen, werden durch den Act der Vereinigung nicht aufgehoben, denn dieſe Stoffe laſſen ſich durch geeignete Mittel in derſelben Qualität und Quantität, in welcher ſie vor der Vereinigung vorhanden waren, wieder herſtellen. Man nennt dieſe Operation, welche als eine **chemiſche Theilung** anzuſehen iſt, die **Zerlegung** oder **Analyſe** der chemiſchen Verbindung.

Ueberläßt man eine Kochſalzlöſung in einem offenen Gefäße ſich ſelbſt, ſo verdünſtet, zumal bei höherer Temperatur, das Auflöſungsmittel, und das Kochſalz ſcheidet ſich in Kryſtallform aus. Um das Waſſer ſelbſt zu erhalten, müßte man die Kochſalzlauge in einem geſchloſſenen Gefäße mit einer Vorlage erwärmen, d. h. das Waſſer abdeſtilliren. Der Zinnober wird durch Glühen an der Luft oder durch Erhitzung in Berührung mit Eiſenfeile zerlegt. Der Schwefel liefert im erſten Falle daſſelbe Product, das bei dem gewöhnlichen Verbrennen des Schwefels entſteht, nämlich ſchwefelige Säure, im zweiten dagegen verbindet er ſich mit dem Eiſen; das Queckſilber wird in beiden Fällen in ausdehnſamer Form frei, und kann, in einer Vorlage abgekühlt, zu ſeiner gewöhnlichen tropfbaren Form condenſirt werden.

58. Die Möglichkeit, Stoffe, die ſich chemiſch verbunden haben, von einander zu trennen, führt uns bezüglich jedes gegebenen Stoffes zur Frage, ob er nicht chemiſche Beſtandtheile enthalte, d. h. ein zuſammengeſetzter Stoff ſey. Laſſen ſich dieſe Beſtandtheile nachweiſen, ſo kehrt hinſichtlich derſelben die nämliche Frage wieder, wodurch man veranlaßt wird, zwiſchen den näheren und entfernteren Beſtandtheilen eines Stoffes zu unterſcheiden, welche letzteren durch fernere Zerlegung der erſteren ſich ergeben. Offenbar läßt ſich die Reihe der Beſtandtheile eines Stoffes nicht in das Unendliche fortführen, ſondern ſie hört mit Stoffen auf, die nicht weiter zerlegbar ſind. Dieſe können mit vollem Rechte einfache Stoffe oder Elemente genannt werden. Es iſt daher ganz natürlich, daß wir in dem Fortſchreiten von den näheren Beſtandtheilen der Stoffe zu den entfernteren aufgehalten werden, nämlich die Zerlegung nicht weiter fortzuſetzen vermögen. Indeſſen folgt daraus noch keinesweges, daß die Stoffe, bis zu welchen wir vordringen, die letzten, d. h. unzerlegbaren Beſtandtheile eines zu analyſirenden Körpers, mithin ſeine Elemente ſind. Ja ſelbſt wenn wir ein Element vor uns hätten, wäre es nach dem gegenwärtigen Stande unſerer Kenntniſſe geradezu unmöglich, einen ſtrengen Beweis ſeiner Einfachheit zu führen. In ſo fern man einen Stoff nicht chemiſch theilen kann, auch durch keine Analogie mit erwieſenen Thatſachen veranlaßt wird, ihn für zuſammengeſetzt zu halten, läßt man ihn oft für einen einfachen gelten und nennt ihn geradezu ein Element. Angemeſſener jedoch iſt es, einen ſolchen Stoff bloß mit dem ſeine Natur nicht näher beſtimmenden Worte Grundſtoff zu bezeichnen.

Eine Salpeterlauge beſteht aus Salpeter und Waſſer; der Salpeter iſt aus Kali und Salpeterſäure, das Waſſer aus Waſſerſtoff und Sauerſtoff zuſammengeſetzt. Letztere zwei Stoffe vermögen wir nicht weiter zu zerlegen, allein die Salpeterſäure kann noch in Stickſtoff und Sauerſtoff, das Kali in Kalium und Sauerſtoff zerlegt werden. Sauerſtoff, Waſſerſtoff, Stickſtoff, Kalium werden für einfache Stoffe gehalten; jedenfalls ſind ſie bis jetzt unzerlegt, und erſcheinen ſomit im Verzeichniſſe der Grundſtoffe.

59. Damit ein Stoff als ein zuſammengeſetzter anerkannt werde, müſſen ſeine Beſtandtheile nachgewieſen ſeyn. Die Anweſenheit eines Beſtandtheiles von beſtimmter Art wird vornehmlich durch ſein beſonderes chemiſches Verhalten gegen andere Stoffe, die man Reagentien nennt, erkannt. Hieraus erhellet, daß die materielle Verſchiedenheit dort, wo äußere Kennzeichen fehlen, noch durch chemiſche Mittel ins Licht geſetzt werden kann. Der klarſte Beweis der Zuſammenſetzung eines Stoffes wird geliefert, wenn man ihn durch wirkliche Vereinigung der aufgefundenen Beſtandtheile hervorzubringen vermag; doch geht dieſer Beweis in vielen Fällen nicht an, wo wir doch weder über die Art, noch über die Menge der Beſtandtheile eines zerlegten Stoffes in Ungewißheit ſind. Dieß gilt insbeſondere von den meiſten organiſchen Gebilden, welche unter dem Einfluſſe der Lebensthätigkeit

entſtehen, und dieſen ihre beſondere Textur verdanken. So kann man kein Blut, kein Fleiſch, keine Pflanzenfaſer auf chemiſchem Wege erzeugen, ungeachtet man dieſe Subſtanzen genau zu analyſiren weiß.

60. Die Wirkungen der chemiſchen Verwandtſchaft gehen offenbar an den kleinſten Theilchen der Körper vor ſich, und zwar wird die Vereinigung heterogener Theilchen durch die Trennung der homogenen bedingt. Daher ſind alle Umſtände, welche letztere fördern, der erſteren günſtig. Ueberdieß erſtreckt ſich die Affinität, gleichwie die Molecularanziehung, nicht auf eine bemerkbare Entfernung, und kann demnach keine Annäherung entfernter Körper bewirken. Daher müſſen die Theile, die ſich chemiſch verbinden ſollen, mit einander in Berührung kommen. Je mehr demnach die Berührungspuncte der chemiſch auf einander einwirkenden Körper vervielfältigt werden, deſto lebhafter geht die Verbindung vor ſich. Aus dieſen allgemeinen Bemerkungen ergeben ſich die Förderungsmittel der chemiſchen Verbindung von ſelbſt. Sie ſind 1) Flüſſigmachung wenigſtens eines der Stoffe, die ſich verbinden ſollen, falls ſämmtliche feſt ſind. Es geht nämlich die Berührung zwiſchen einem flüſſigen Stoffe und einem feſten immer allſeitiger und vollſtändiger vor ſich, als zwiſchen zwei feſten auch noch ſo fein zertheilten Stoffen; ferner ſetzt der flüſſige Stoff der Trennung ſeiner Aggregattheile kein merkliches Hinderniß entgegen. Schon die alten Chemiker ſtellten den Erfahrungsſatz auf: Corpora non agunt niſi fluida. In manchen Fällen genügt ein die Verſchiebung der Körpertheile zulaſſender Grad von Weichheit. 2) Verkleinerung der feſten Körper, denn die Summe der Oberflächen der Theile iſt größer als die Oberfläche des getheilten Körpers, mithin wird ſo die Anzahl der Berührungspuncte vermehrt. 3) Umrühren, denn dadurch kommen Theile in Contact, die ſich ſonſt nicht berührt hätten. 4) Temperaturerhöhung, denn dieſe entfernt die Aggregatheile von einander, und vermindert ihren Zuſammenhang; jedoch darf die Erwärmung nicht ſo weit gehen, daß einer der Körper dadurch in den ausdehnſamen Zuſtand verſetzt wird, mithin die vorherrſchende Abſtoßung ſeiner Theilchen der Affinität entgegen wirkt. 5) Gegenwart eines Stoffes, deſſen Einwirkung auf die einander berührenden Stoffe mit ihrer Verwandtſchaft in gleichem Sinne wirkt, ſey es, daß er ſich mit dem Producte ihrer Verbindung zu vereinigen ſtrebt (ſogenannte disponirende Verwandtſchaft), oder daß er ſelbſt dabei ganz unverändert bleibt (Contactſubſtanzen). Dieſes Mittel iſt vorzüglich bei Gemengen luftförmiger Stoffe wirkſam, die ſich ſonſt nicht chemiſch verbinden würden. 6) Freimachung eines Stoffes aus einer chemiſchen Verbindung bei unmittelbarer Berührung mit einem andern Stoffe, der zu erſterem Verwandtſchaft hat (Status naſcens). In dieſem Falle können die frei werdenden Theilchen ſich nicht zu einem Aggregate gruppiren, und ſind im Zuſtande der größten Vertheilung. Als Hinderniſſe der chemiſchen Verbindung ſtellen ſich ſomit feſter Zuſtand, große Dichte, und in gewiſſer Hinſicht auch niedrige Temperatur und Gasform dar.

Kupfer und Zink verbinden ſich nicht zu Meſſing, wenn dieſe Metalle in noch ſo fein zertheiltem Zuſtande gemengt werden; nur durch Zuſammenſchmelzen erfolgt die Vereinigung. Kohle in Pulverform verbindet ſich mit Eiſen zu Stahl, wenn dieſes zwar nicht zum Schmelzen, aber doch ſo erhitzt iſt, daß es weich wird, und dieſer Zuſtand hinreichend lange anhält. Queckſilber und Sauerſtoff verbinden ſich bei der gewöhnlichen Temperatur der Luft nicht leicht, wohl aber bei höherer Temperatur, wenn nur dieſe den Siedpunct des Queckſilbers nicht erreicht; ſteigt jedoch die Temperatur bis zu dieſem Puncte, ſo erfolgt keine Verbindung. Stickſtoff und Sauerſtoff, welche beide in Gasform gemengt die atmoſphäriſche Luft bilden, vereinigen ſich nicht, ungeachtet einer bedeutenden Affinität, wohl aber, wenn der Stickſtoff bei Fäulniß thieriſcher Stoffe im Status nascens erſcheint, und eine Salzbaſis, z. B. Kali, Kalk u. dgl., welche zu dem Producte der Verbindung erſterer Stoffe, nämlich zur Salpeterſäure Verwandtſchaft hat, gegenwärtig iſt. Waſſerſtoffgas und Sauerſtoffgas können beliebig lange gemengt erhalten werden, ohne ſich mit einander zu Waſſer zu verbinden; bringt man eine reine Platinplatte, oder noch beſſer fein zertheiltes Platin in das Gemenge, ſo erfolgt die Vereinigung ſogleich, ohne eine am Platin wahrnehmbare Veränderung. Chlor und Stickſtoff verbinden ſich direct nicht mit einander, wohl aber wenn letzterer im Status nascens auftritt, wie bei Einwirkung von Chlorgas auf eine Salmiaklöſung. Dichte Stoffe werden unter übrigens gleichen Umſtänden ſchwerer angegriffen als minder dichte; ſo greift Scheidewaſſer eine Silbermünze an den erhabenen, weniger zuſammengepreßten Stellen leichter an, als an den vertieften, die den größten Druck ausgehalten haben; man kann durch dieſes Mittel an abgegriffenen Münzen das Gepräge wieder ſichtbar machen.

61. Kräfte, welche der Verwandtſchaft der Beſtandtheile eines zuſammengeſetzten Stoffes entgegen wirken, können, zu dem gehörigen Grade geſteigert, eine Zerlegung deſſelben bewerkſtelligen. Solche Kräfte üben Wärme, Licht, Elektricität, ja ſelbſt Stoffe aus, die mit dem zu zerlegenden in Berührung kommen, ohne dabei eine Veränderung zu erleiden (ſogenannte Katalyſe. Berzelius Jahresbericht 15. 237). In der Regel aber wird die Zerlegung eines zuſammengeſetzten Stoffes durch die Verwandtſchaft bewirkt, welche andere ſchicklich gewählte Stoffe gegen die Beſtandtheile deſſelben ins Spiel ſetzen, d. i. durch eigentlich chemiſche Mittel.

Wäſſerige Löſungen werden durch Verdampfen des Waſſers zerſetzt, Chlorſilber und andere Silberſalze durch Sonnenlicht, kohlenſaurer Kalk, Queckſilberoxyd durch Glühen, Waſſer durch einen elektriſchen Strom, Waſſerſtoffſuperoxyd durch bloße Berührung mit Gold oder Silber.

62. Die Zerlegung der Stoffe durch ſtreng chemiſche Mittel gründet ſich darauf, daß die verſchiedenen Stoffe in verſchiedenem Grade chemiſch verwandt ſind, und ihre größere oder kleinere Verwandtſchaft ſelbſt dann noch äußern, wenn ſie bereits mit andern Körpern verbunden ſind. Kommt nämlich zu einem Stoffe AB, d. h. zu einem ſolchen, deſſen Beſtandtheile A und B ſind, ein Stoff C, welcher zu A eine größere Verwandtſchaft hat, als A zu B, ſo erfolgt eine Zerlegung von AB und eine Vereinigung von A mit C, wodurch B ganz oder zum Theil frei wird. Weil ſich C gleichſam den Stoff A ausgewählt hat, ſo ſagt man, die Zerlegung des Körpers AB ſey durch Wahl-

verwandtſchaft erfolgt, und zwar durch einfache, weil hier bloß ein Stoff als wählender und einer als gewählter erſcheint. Hieher rechnet man auch den Fall, wenn ſich C ſowohl mit A, als auch mit B verbindet, mithin die Stoffe A C und B C entſtehen. Wäre aber der zweite Stoff ſelbſt ein zuſammengeſetzter C D und hätte ſich A mit C, B mit D verbunden, ſo wäre eine doppelte Wahlverwandtſchaft thätig geweſen. Verbände ſich in letzterem Falle A mit C, ohne daß B und D eine Verbindung eingehen, ſo wäre der Effect lediglich durch einfache Wahlverwandtſchaft herbeigeführt worden. Es gibt auch Fälle, in welchen mehr als zwei Paare von Stoffen ſich trennen und verbinden, welche man mehrfacher Wahlverwandtſchaft zuſchreibt.

Beiſpiele einfacher Wahlverwandtſchaft ſind: Die Zerlegung des Zinnobers, des ſchwefelſauren Kupferoxyds durch Eiſen; des ſalpeterſauren Kalkes durch Kali; des ſalpeterſauren Kali's, des kohlenſauren Kalkes durch Schwefelſäure. Es entſteht Schwefeleiſen, ſchwefelſaures Eiſenoxyd, ſalpeterſaures Kali, ſchwefelſaures Kali, ſchwefelſaurer Kalk, und es wird Queckſilber, Kupfer, Kalk, Salpeterſäure, Kohlenſäure ausgeſchieden. Ferner gehört hieher die Zerlegung des Schwefelbleies durch Chlor, wobei Chlorſchwefel und Chlorblei entſteht, und die Zerlegung von ſchwefelſaurer Alaunerde und kohlenſaurem Ammoniak in Wechſelwirkung, wobei ſich ſchwefelſaures Ammoniak bildet und Alaunerde und Kohlenſäure abgeſondert in Freiheit treten. Als Beiſpiele doppelter Wahlverwandtſchaft mögen dienen die gegenſeitige Zerlegung von ſchwefelſaurem Kali und ſalpeterſaurem Baryt, wobei ſalpeterſaures Kali und ſchwefelſaurer Baryt; oder von kohlenſaurem Kali und ſchwefelſaurem Baryt, wobei ſchwefelſaures Kali und kohlenſaurer Baryt erhalten werden; oder des ſalpeterſauren Silberoxydes in Berührung mit Natriumchlorid (Kochſalz), wobei ſalpeterſaures Natron und Chlorſilber entſtehen. Eine mehrfache Verwandtſchaft iſt bei dem Aufeinanderwirken von eſſigſaurem Bleioxyd und ſchwefelwaſſerſtoffſaurem Kali thätig; es wird eſſigſaures Kali, Schwefelblei und Waſſer erzeugt.

Man kann die Zerſetzung der Stoffe mittelſt Wahlverwandtſchaft, wiewohl nur mit Vorſicht, dazu benützen, die Verwandtſchaftsgrade ihrer verſchiedenen Beſtandtheile zu einander kennen zu lernen. So z. B. lehrt die Erfahrung, daß ſchwefelſaures Ammoniak durch Natrum, ſchwefelſaures Natrum durch Kali, ſchwefelſaures Kali durch Kalk, ſchwefelſaurer Kalk durch Strontian zerſetzt wird, mithin daß die genannten Körper nach ihrer Verwandtſchaft zur Schwefelſäure ſo auf einander folgen: Ammoniak, Natrum, Kali, Kalk, Strontian. Doch darf man hierbei nicht vergeſſen, daß oft äußere Umſtände die Verwandtſchaftsgrade ſtark abändern, und entweder keine reinen oder gar keine Ausſcheidungen Statt finden, wo ſie den vorausgeſetzten Verwandtſchaftsgraden zu Folge eintreten ſollten. Solche Abweichungen werden oft durch den Umſtand erzeugt, daß ein Körper nicht bloß durch ſeine Verwandtſchaft, ſondern auch durch die Geſammtheit ſeiner kleinſten Partikel, mithin durch ſeine Maſſe wirkt, und daher das Reſultat ſeiner chemiſchen Wirkung von dem Producte dieſer beiden Größen (vom chemiſchen Momente) abhängt. Es kann darum ein Körper mit geringer Verwandtſchaft und großer Maſſe einen andern, deſſen Verwandtſchaft größer, deſſen Maſſe aber viel kleiner iſt, aus ſeiner Verbindung vertreiben. Auf dieſe Weiſe vertreibt die Salpeterſäure die viel ſtärkere Schwefelſäure aus ihrer Verbindung mit Kali. Aehnliche Anomalien

bewirkt ein hoher Grad von Flüchtigkeit eines Stoffes, oder die große Auflösbarkeit deſſelben in dem Mittel, worin er ſich bildet, wohl auch die Temperatur. Deßhalb vertreibt die feuerfeſte Borſäure die viel ſtärkere, aber flüchtige Salpeterſäure aus ihren Verbindungen bei einem hohen Hitzegrade; eben ſo zerſetzt die Weinſäure die Auflöſung von ſalpeterſaurer Kalkerde, und bildet die leicht im Waſſer lösliche, weinſaure Kalkerde, wiewohl die Salpeterſäure der Kalkerde näher verwandt iſt, als die Weinſäure. Wie ſehr die Temperatur die Verwandtſchaft modificire, zeigt das bereits oben erwähnte Verhalten des Queckſilbers zum Sauerſtoffe bei verſchiedener Temperatur.

63. Zu Verſuchen über das chemiſche Verhalten der Körper und ihre Zuſammenſetzung und Zerlegung braucht man mancherlei Geräthe und Werkzeuge, deren Inbegriff den chemiſchen Hausrath ausmacht. Zu dieſen gehören die Oefen, in denen Kohlenfeuer, ſehr häufig auch Lampenfeuer (Lampenöfen) entweder durch einen natürlichen Luftzug (Windöfen), oder durch künſtlich zugeführte comprimirte Luft (Gebläſeöfen) unterhalten wird, die nicht ſelten mit einem gewölbten Deckel und einer Kuppel (Reverberir- oder Kuppelöfen) verſehen ſind, und in welchen die Körper, welche man der Hitze ausſetzen will, entweder im Schmelztiegel mitten zwiſchen die Kohlen oder oberhalb derſelben in ein eigenes Gefäß (Capelle) geſtellt werden. Im letzteren Falle wird der Raum, den der Körper und das ihn enthaltende Gefäß übrig läßt, der gleichförmigen Erwärmung wegen, mit feinem trockenen Sande (Sandbad) oder mit Waſſer (Waſſer- oder Marienbad) ausgefüllt. Nicht minder wichtig ſind Gefäße von allerlei Formen und aus verſchiedenem Materiale, wie z. B. gläſerne, thönerne, porzellanene, metallene Kolben, Schalen, Retorten, Vorſtöße, Woulfeſche Flaſchen im Einzelnen oder zu einem Woulfeſchen Apparate verbunden, Abrauchſchalen, Filtrirgefäße nebſt paſſenden Filtrirtrichtern, Gasentwicklungsflaſchen, eine pneumatiſche Waſſer- oder Queckſilberwanne, oder ſtatt deren auch Pepy's Gasbehälter, mit den nöthigen Recipienten und Guyton'ſchen Trägern ꝛc.

Ungeachtet man heut zu Tage viel genauer arbeitet als früher, ſo braucht man doch nicht ſo viel Apparate. Insbeſondere bedient man ſich heut zu Tage bei chemiſchen Arbeiten faſt durchgehends kleinerer Körpermengen, als es früher gebräuchlich war, und erzielt doch genauere Reſultate (Döbereiner, zur mikrochemiſchen Experimentirkunſt. Jena 1821. *Chemical manipulation by M. Faraday. London* 1829). Faſt alle Operationen, auf welchen die Demonſtration der in dieſem Kapitel vorzutragenden Erſcheinungen beruht, laſſen ſich theils mit einer einfachen Spirituslampe, theils mit einer Berzelius'ſchen Lampe mit doppeltem Luftzuge ausführen, wobei die Stoffe bloß in gläſernen Gefäßen behandelt werden.

64. Einer der wichtigſten Gegenſtände der Forſchung, welcher ſich bei der Betrachtung der Affinität der Stoffe darbietet, betrifft die Mengen oder quantitativen Verhältniſſe, in welchen ſich die Stoffe verbinden. Als oberſtes Geſetz ſtellt ſich hier der Erfahrungsſatz dar, daß das Gewicht eines zuſammengeſetzten Stoffes ſtets der Summe der Gewichte ſeiner Beſtandtheile gleich kommt. Man kann dieſen Satz

das Geſetz der Erhaltung der Maſſen der ſich verbindenden Stoffe nennen. Es erſcheint an ſich betrachtet, wiewohl ſeine Wahrheit nicht a priori klar iſt, dergeſtalt natürlich, daß man die Richtigkeit deſſelben von jeher vorausgeſetzt und demgemäß es ſtets als ausgemacht angeſehen hat, daß wenn bei der Zerlegung eines Körpers die erhaltenen Beſtandtheile zuſammengenommen weniger wiegen als der Körper vor der Zerlegung, dabei etwas verloren gegangen, dagegen wenn das Totalgewicht der erhaltenen Beſtandtheile ſich größer zeigt, als das Gewicht des Körpers, etwas Fremdartiges hinzugekommen ſeyn müſſe. Hinſichtlich der relativen Menge, in welcher die Stoffe eine Verbindung eingehen, findet aber ein bedeutender Unterſchied Statt, je nachdem eine Auflöſung oder eine ächte chemiſche Verbindung vor ſich geht.

65. Ein flüſſiger Körper löſet von einem feſten eine Quantität auf, die ihrer gegenſeitigen Verwandtſchaft entſpricht; über dieſe Grenze hinaus findet unter denſelben Umſtänden keine Auflöſung mehr Statt. Man ſagt dann, die Auflöſung ſey geſättigt. Innerhalb des Sättigungspunctes wird aber jede beliebige Quantität des feſten Körpers von der Flüſſigkeit aufgelöſet, und es iſt demnach hier eine Verbindung der Stoffe in unbeſtimmten Quantitätsverhältniſſen möglich. Der Sättigungspunct ändert ſich meiſtens mit der Temperatur, und ſteigt mit dieſer, wiewohl es auch Fälle vom Gegentheile gibt. Uebrigens nimmt eine Flüſſigkeit nicht die ganze Maſſe, welche ſie aufzulöſen vermag, mit gleicher Leichtigkeit auf, ſondern es verändert ſich ihr Auflöſungsvermögen, je näher man dem Sättigungspuncte kommt. Eine Flüſſigkeit, die mit einem Stoffe geſättigt iſt, kann oft noch von einem andern etwas auflöſen.

100 Gewichtstheile Waſſer werden bei jeder Temperatur mit 37 Theilen Kochſalz geſättigt, und können daher nie mehr, wohl aber jede beliebige geringere Quantität auflöſen. Dagegen werden 100 Gewichtstheile Waſſer bei 0° C. mit 13,3 Th., bei 18° C. mit 29,4 Th., bei 55° C. mit 97 Th. und bei 98° C. mit 236,5 Th. Salpeter geſättigt. Eine geſättigte heiße Salpeterlauge läßt demnach während des Abkühlens Salpeter fallen, der ſich in Kryſtallform ausſcheidet. Der Sättigungspunct des waſſerfreien Glauberſalzes ſteigt mit der Temperatur, bis letztere 33° C. erreicht hat; über dieſen Grad hinaus nimmt die Löslichkeit des Salzes ab. Eine geſättigte Kochſalzlöſung kann noch Salpeter auflöſen.

66. Es gibt auch Auflöſungen flüſſiger Stoffe in flüſſigen, wie z. B. des Alkohols in Waſſer. Bei ſolchen zeigt ſich kein Sättigungspunct, und es iſt meiſtens zwiſchen jeder beliebigen Quantität des einen und jeder des andern eine Verbindung möglich. Indeſſen kommen doch Fälle vor, wo bei gewiſſen Miſchungsverhältniſſen die Verbindung ohne Vergleich inniger iſt, als bei allen andern innerhalb beſtimmter Grenzen davon mehr oder minder abweichenden.

67. Viel merkwürdiger und auch viel genauer unterſucht ſind jene chemiſchen Verbindungen, bei denen die chemiſchen Eigenſchaften der ſich vereinigenden Stoffe gänzlich verſchwinden. In Betreff derſelben gelten folgende durch unzählige Verſuche über alle Zweifel erhobene Geſetze: 1) Die Stoffe verbinden ſich unter einander in einem oder in

mehreren, jedoch genau beſtimmten und von allen Umſtänden unabhängigen Gewichtsverhältniſſen. Bei Quantitäten, die dieſen Verhältniſſen nicht entſprechen, bleibt der Ueberſchuß unverbunden. Dieß iſt das Geſetz der beſtimmten Verhältniſſe. 2) Verbindet ſich ein Stoff in mehreren Verhältniſſen mit einem anderen Stoffe (wobei gänzlich verſchiedene Producte erhalten werden), ſo ſtehen die Gewichtsmengen des erſten, welche einer und derſelben Gewichtsmenge des zweiten entſprechen, unter einander in ſehr einfachen Verhältniſſen; ſie verhalten ſich nämlich wie die Zahlen, 1, 1½, 2, 2½, 3 u. ſ. w. Iſt alſo a die geringſte Gewichtsmenge des erſten Stoffes, die ſich mit der gegebenen Gewichtsmenge b des zweiten verbindet, ſo ſind die in den höheren Verbindungsſtufen vorkommenden Quantitäten des erſten und zweiten Stoffes 3a und 2b, oder 2a und b, oder 5a und 2b, oder 3a und b, oder 7a und 2b, oder 4a und b, u. ſ. w. In allen Fällen jedoch erſcheinen in der Erfahrung nur einige wenige der erſten Glieder dieſer Reihe. Dieß iſt das Geſetz der Vielfachen. 3) Verbinden ſich von drei Stoffen je zwei unter einander, ſo iſt das quantitative Verhältniß, in welchem ſich der erſte mit dem dritten verbindet, entweder aus den Verhältniſſen, in welchen ſich der erſte mit dem zweiten und der zweite mit dem dritten vereinigt, geradezu zuſammengeſetzt, oder es ſteht mit dieſen in einer ſehr einfachen, dem Geſetze der Vielfachen analogen Beziehung. Verbindet ſich nämlich die Gewichtsmenge a des Stoffes A mit der Gewichtsmenge b des Stoffes B; ferner die Gewichtsmenge b des Stoffes B mit der Gewichtsmenge c des Stoffes C: ſo verbindet ſich die Gewichtsmenge a des Stoffes A entweder geradezu mit der Gewichtsmenge c des Stoffes C, oder es iſt die letztere Gewichtsmenge $= \frac{1}{2}$ c, $\frac{1}{3}$ c... oder = 2 c, 3 c... Man kann dieſes Geſetz auch ſo ausdrücken: Wenn in einer Verbindung AB bei ungeänderter Quantität des Stoffes B der Stoff C an die Stelle von A tritt, ſo ſind die gegen einander vertauſchten, oder wie man zu ſagen pflegt, einander äquivalenten Quantitäten der Stoffe A und C entweder ſolche, in welchen ſich die letzteren Stoffe verbinden können, oder dieſe Quantitäten folgen aus jenen durch Multiplication oder Diviſion mit den einfachſten ganzen Zahlen. Dieß iſt das Geſetz der Aequivalente. 4) Die Verhältniſſe, in welchen zuſammengeſetzte Stoffe Verbindungen eingehen, werden durch diejenigen bedingt, in denen ihre Beſtandtheile im iſolirten Zuſtande ſich mit andern Stoffen verbinden, ſo zwar, daß die zur Vereinigung erforderlichen Quantitäten in beiden Fällen dieſelben bleiben. Es ſind nämlich, z. B. wenn a, b, c, d die Gewichtsmengen bedeuten, in denen die Stoffe A, B, C, D ſich unter einander verbinden, a + b und c + d, mit den durch das Geſetz der Vielfachen geſtatteten Abänderungen 2a + b, 3a + b u. dgl. die Mengen, in welchen die zuſammengeſetzten Stoffe AB und CD eine Verbindung eingehen. Dieß iſt das Geſetz der zuſammengeſetzten Verbindungen.

Silicium und Sauerſtoff verbinden ſich, ſo weit unſere Erfahrung reicht, nur in einem einzigen Verhältniſſe, nämlich 277 Gewichtstheile Sili-

cium mit 300 Theilen Sauerſtoff, oder es ſind in 100 Theilen Kieſelerde 48 Theile Silicium und 52 Theile Sauerſtoff enthalten. Schwefel und Sauerſtoff verbinden ſich in vier Verhältniſſen, nämlich 201 Theile Schwefel mit 100, 200, 250 und 300 Theilen Sauerſtoff, ſo daß die Sauerſtoffmenge in der zweiten Verbindungsſtufe das Doppelte, in der dritten das $2\frac{1}{2}$fache, in der vierten das 3fache der in der erſten Stufe vorhandenen ausmacht. Es verbinden ſich 100 Theile Sauerſtoff mit $12\frac{1}{2}$ Theile Waſſerſtoff, ferner 100 Theile Sauerſtoff mit 201 Theilen Schwefel und 201 Theile Schwefel mit $12\frac{1}{2}$ Theilen Waſſerſtoff. Eine Folge des Geſetzes der Aequivalente iſt, daß wenn eine gewiſſe Menge eines Stoffes M ſich mit den Mengen a, b, c,... der Stoffe A, B, C,... und eben ſo irgend eine Menge des Stoffes N, ſich mit den Mengen α, β, γ,... derſelben Stoffe A, B, C... verbindet, in ſo fern die Glieder beider Reihen correſpondirenden Verbindungsſtufen angehören, die Proportion

$$a : b : c : \ldots = \alpha : \beta : \gamma : \ldots$$

Statt findet. So verbinden ſich 100 Theile Sauerſtoff mit $12\frac{1}{2}$ Theilen Waſſerſtoff, 396 Th. Kupfer, 403 Th. Zink, 1352 Th. Silber, und es verbinden ſich 201 Th. Schwefel wie auch 443 Th. Chlor mit eben dieſen Mengen der genannten Stoffe; kein Wunder alſo daß ſich die Quantitäten Waſſerſtoff, Kupfer, Zink, Silber, die mit irgend einer Menge Schwefel oder Chlor in Verbindung treten, ſich unter einander verhalten, wie die Zahlen $12\frac{1}{2}$, 396, 403, 1352. Doch folgt aus dem Beſtehen dieſer Proportion für ſich allein, nicht umgekehrt das Geſetz der Aequivalente in dem oben ausgeſprochenen Umfange. Wie ſo eben geſagt worden, verbinden ſich 100 Theile Sauerſtoff mit 403 Theilen Zink; das Product ſind 503 Theile Zinkoxyd. Ferner verbinden ſich 300 Theile Sauerſtoff mit 201 Theilen Schwefel zu 501 Theilen Schwefelſäure. Dieſes Quantum Schwefelſäure iſt mit dem vorgenannten Quantum Zinkoxyd genau verbindungsfähig und liefert $501 + 503 = 1004$ Theile ſchwefelſaures Zinkoxyd. 100 Theile Sauerſtoff geben mit 396 Theilen Kupfer 496 Theile Kupferoxyd; auch dieſe verbinden ſich mit 501 Theilen Schwefelſäure zu 997 Theilen ſchwefelſaures Kupferoxyd (Kupfervitriol).

68. Die ſo eben angeführten Geſetze geſtatten jedem Stoffe eine gewiſſe Zahl beizulegen, deren Vielfachen oder aliquoten Theilen das Gewicht, mit dem er in Verbindungen eingeht, proportional iſt. Man nennt dieſe Zahl ſein Miſchungsgewicht oder Aequivalent. Iſt nun bekannt, wie viele Aequivalente jedes der Beſtandtheile zur Bildung eines zuſammengeſetzten Stoffes mitwirken, ſo läßt ſich mit Hülfe einer Tabelle der Miſchungsgewichte ſämmtlicher einfacher Stoffe die Zuſammenſetzung jedes andern berechnen. Es laſſen ſich die Miſchungsgewichte und die Zuſammenſetzungsformeln ſo wählen, daß nur Vielfache, nicht aber auch Bruchtheile der Aequivalente, in Rechnung kommen, und da es ſich lediglich um Verhältniſſe von Mengen, nicht um abſolute Beſtimmungen handelt, ſo kann das Miſchungsgewicht eines beliebigen Stoffes = 1, oder wenn man lieber will = 100 geſetzt werden.

Man kann den obigen Beiſpielen gemäß das Miſchungsgewicht des Sauerſtoffes = 100, des Waſſerſtoffes = 12,5, des Schwefels = 201, des Kupfers = 396, des Zinks = 403 u. ſ. w. ſetzen. Um daher die Zuſammenſetzung des Kupfervitriols zu berechnen, muß man wiſſen, daß er aus Schwefelſäure und Kupferoxyd beſteht; daß zur Bildung der

Schwefelſäure 1 Aequivalent Schwefel und 3 Aequivalente Sauerſtoff, zur Bildung des Kupferoxydes 1 Aequivalent Kupfer und 1 Aequivalent Sauerſtoff erforderlich ſind; ſomit ergeben ſich für 997 Kupfervitriol 496 Theile Kupferoxyd und 501 Theile Schwefelſäure. Die engliſche Schwefelſäure beſteht im concentrirten Zuſtande aus 1 Aequivalent Schwefelſäure in Verbindung mit einem Aequivalent Waſſer, letzteres enthält 1 Aequivalent Waſſerſtoff und 1 Aequivalent Sauerſtoff, daher iſt das Aequivalent des Waſſers = 12,5 + 100 = 112,5 und ſomit jenes der engliſchen Schwefelſäure = 613,5. Da hierin offenbar 201 Theile Schwefel vorkommen, ſo läßt ſich demnach leicht angeben, daß zur Erzeugung von 100 Pfund engliſcher Schwefelſäure 33 Pfund Schwefel nöthig ſind.

Die Aequivalente laſſen gewiſſermaßen auf die chemiſche Wirkſamkeit der Stoffe ſchließen, indem ein Stoff für deſto kräftiger gelten muß, in je geringerer Quantität er die chemiſchen Eigenſchaften einer großen Menge jedes anderen Stoffes aufhebt. Es ſtehen ſonach die chemiſchen Kräfte der Stoffe im verkehrten Verhältniſſe ihrer Miſchungsgewichte. Wie das ſpäter (73) folgende Verzeichniß ausweiſet, iſt unter den Grundſtoffen der Waſſerſtoff der kräftigſte, das Uranmetall der ſchwächſte. Dieſer Umſtand hat einige Chemiker bewogen, das Aequivalent des Waſſerſtoffes = 1 zu ſetzen. Bei dieſer Annahme wird alſo das Miſchungsgewicht des Sauerſtoffes = 8, des Schwefels = 16, des Kupfers = 31,7, des Zinks = 32,3 u. ſ. w.

69. Daß die phyſiſche Beſchaffenheit eines zuſammengeſetzten Stoffes von der Natur ſeiner Beſtandtheile abhängt, iſt wohl eine klare Sache; allein ſehr merkwürdig iſt es, daß dieſe Abhängigkeit hinſichtlich mancher Eigenſchaften durch äußerſt einfache Geſetze geregelt wird. Hier wollen wir nur die Abhängigkeit des Volums (und in Folge deſſen auch der Dichte) der Verbindung von den Rauminhalten der Beſtandtheile näher in das Auge faſſen, weil dieſer Gegenſtand mit den ſo eben vorgetragenen Verbindungsgeſetzen im Zuſammenhange ſteht. Wenn ſich Stoffe in Gasform zu einem gasförmigen Producte verbinden, und ſämmtliche Gaſe bei gleicher Spannkraft und gleicher Temperatur betrachtet werden, ſo ſtehen, wie Gay-Luſſac entdeckt hat, die Rauminhalte der Beſtandtheile unter einander und der Rauminhalt des Productes zur Summe der Rauminhalte der Beſtandtheile in höchſt einfachen Verhältniſſen. Sind nämlich v und v' die Volumina der Beſtandtheile und V das Volum des Productes, ſo iſt entweder $v' = v$ oder $v' = 2v$ oder $v' = 3v$ u. ſ. w. und dabei entweder $V = v + v'$ oder $V = \frac{1}{2}(v + v')$ oder $V = \frac{2}{3}(v + v')$ u. dgl. Daß, wo mehrere Verbindungsſtufen vorkommen, die Rauminhalte der wechſelnden Quantitäten deſſelben Beſtandtheils in einfachen Verhältniſſen, nämlich: wie die Zahlen 1, 2, 3 ꝛc. fortſchreiten, folgt aus dem oben erklärten Geſetze der Vielfachen; das Eigenthümliche der gasförmigen Verbindungen liegt aber in der Einfachheit des Verhältniſſes der Rauminhalte der verſchiedenen Beſtandtheile unter einander und des Productes zum Totalvolum der Beſtandtheile. Der zweite Theil dieſes Geſetzes hat neuerlich, beſonders durch Schröder, eine unerwartete Ausdehnung auf die nicht gasförmigen Verbindungen erhalten. Es ſeyen nämlich v und v' die Volumina, mit welchen zwei

feſte oder tropfbar flüſſige Stoffe ihre Verbindung eingehen und V das Volum des Productes, ſo iſt in vielen Fällen $V = v + v'$ im Allgemeinen aber $V = \alpha v + \beta v'$ wo α, β einfache, ganze oder gebrochene Zahlen vorſtellen. Die Volumina ergeben ſich, wenn man die Maſſen der Stoffe durch ihre Dichten, oder die abſoluten Gewichte durch die ſpecifiſchen dividirt (52). Da es ſich hier lediglich um Verhältniſſe handelt, ſo kann man für die Volumina im Allgemeinen die Quotienten ſetzen, welche aus der Diviſion des Miſchungsgewichtes durch die Dichte entſpringen und jeden ſolchen Quotienten Aequivalentvolum nennen. Für Stoffe, die man nur im gasförmigen Zuſtande kennt, muß, wo ſie in nichtgasförmige Verbindungen eintreten, das Aequivalentvolum vorläufig indirect aus einigen der Verbindungen ſelbſt abgeleitet werden. In den bisher zu Stande gebrachten Formeln für die Aequivalentvolumina der verſchiedenartigſten Verbindungen liegt in ſo ferne noch eine große Unſicherheit, daß mehrere gleich einfache Annahmen den Erfahrungsreſultaten Genüge leiſten; allein die Thatſache, daß hier einfache Beziehungen Statt haben, iſt außer Zweifel geſetzt. (Schröder in Pogg. Ann. 50, 553; Kopp ebd. 47, 133; 52, 243.)

1 Volum Stickgas verbindet ſich mit 1 Vol. Sauerſtoffgas zu 2 Vol. Stickſtoffoxydgas; 2 Vol. Stickgas und 1 Vol. Sauerſtoffgas geben 2 Vol. Stickſtoffoxydulgas; 1 Vol. Stickgas und 3 Vol. Waſſerſtoffgas geben 2 Vol. Ammoniakgas. — Das Aequivalent des Zinkoxydes iſt wie oben gezeigt wurde = 503; die genauere Angabe iſt 503, 226. Die Dichte desſelben iſt nach genauen Verſuchen = 5,432, mithin das Aequivalentvolum = 503,226 : 5,432 = 92,6. Das Aequivalent des Zinks ſelbſt iſt 403,226, die Dichte = 6,861, daher das Aequivalentvolum = 58,8. Das Zinkoxyd beſteht aus Zink und Sauerſtoff. Wird vom Aequivalentvolum des Zinkoxydes jenes des Zinkes abgezogen, ſo bleibt 92,6 — 58,8 = 33,8 für das Aequivalentvolum des Sauerſtoffes. Legt man dieſes der Berechnung des Aequivalentvol. anderer Metalloxyde zum Grunde, ſo findet man mit der Erfahrung übereinſtimmende Reſultate.

70. Da die Erſcheinungen, durch welche ſich die Verwandtſchaft der Stoffe kund gibt, nicht aus anderen Erſcheinungen erklärt werden können, ſo ſchreibt man ſelbe der Wirkſamkeit einer Kraft zu, die den Molecularkräften ähnlich, die kleinſten Körpertheile beherrſcht, ja deren Effecte mit jenen der eben genannten, die Aggregationsform bedingenden Kräfte in einer gewiſſen Beziehung ſtehen. Man nennt ſie chemiſche Anziehungskraft. Die nähere Vorſtellung, die man ſich von derſelben zu machen hat, hängt von der Anſicht ab, zu der man ſich in Betreff des Herganges einer chemiſchen Verbindung bekennen mag. In ſo fern das Product einer chemiſchen Vereinigung heterogener Stoffe durch und durch als ein gleichartiges Ganzes erſcheint, woran man oft nicht die geringſte Spur der Eigenſchaften der Beſtandtheile wahrnimmt, ſollte man meinen, es ſeyen auch die kleinſten Theilchen der in Verbindung tretenden Stoffe aufgehoben und aus denſelben ganz neue Theilchen gebildet worden. In der That haben manche Naturforſcher eine wechſelſeitige Durchdringung der Theilchen

während des Actes der chemiſchen Verbindung, eine neue Anordnung der anziehenden und abſtoßenden Kräfte, aus deren Conflict die Materie ſelbſt hervorgehen ſoll, angenommen. Allein die Geſetze der chemiſchen Verbindung, namentlich jene, welche die Maſſenverhältniſſe betreffen, deuten an, daß man um die chemiſche Verbindung heterogener Stoffe zu begreifen, nicht bis auf das letzte Subſtrat der Materie einzudringen braucht. Man kann ſich nämlich vorſtellen, daß die Molekel der Körper ſelbſt aus kleineren Theilchen beſtehen, deren materielle Verſchiedenheit die Verſchiedenheit der Stoffe bedingt und deren verſchiedenartige, durch die ihnen eigenen Kräfte hervorgerufene Nebeneinanderlagerung den Grund der mannigfaltigen chemiſchen Verbindungen in ſich trägt. Dieſe kleineren Theilchen, die man, wenn ja eine weitere Hypotheſe über ihre Natur am Platze iſt, noch immerhin dynamiſch, d. i. durch einander hemmende Kräfte gebildet denken kann, heißen Atome, nicht als wolle man durch dieſe Benennung ihre Untheilbarkeit vorausſetzen, ſondern nur um anzudeuten, daß man ſelbe als für ſich beſtehende Einheiten betrachten und daher nicht weiter theilen wolle. Man geräth daher in gar keinen Widerſpruch, wenn man von einfachen Atomen als letzten Theilchen der chemiſch unzerlegbaren Stoffe, und von zuſammengeſetzten Atomen, die durch eine gewiſſe Gruppirung einfacher Atome entſtehen, ſpricht, wie es in dem gegenwärtig von den Naturforſchern faſt allgemein angenommenen atomiſtiſchen Syſteme zu geſchehen pflegt. Die Molecularkräfte müſſen nach dieſem Syſteme als zuſammengeſetzte, aus der Geſammtwirkung der ein Molekel bildenden Atome hervorgehende Kräfte betrachtet werden. Hieraus erklärt ſich nicht nur der Einfluß, den die materielle Beſchaffenheit eines Stoffes auf ſeine Aggregationszuſtände ausübt, ſondern auch alle oben angeführten Geſetze über die quantitativen Verhältniſſe chemiſcher Verbindungen ſind eine nothwendige Folge der Juxtapoſition der Atome. Die Auflöſung eines Stoffes in einem anderen wird augenſcheinlich durch geringere chemiſche Kräfte bewirkt, als eine Verbindung in der die Beſtandtheile ihre charakteriſtiſchen Eigenſchaften eingebüßt haben. Man erklärt die Auflöſung ganz befriedigend durch ein ſolches Nebeneinandertreten der Theilchen, wobei die Atomgruppen, welche die Natur der Beſtandtheile beſtimmen, noch beiſammen bleiben; die chemiſche Verbindung im engeren Sinne wird aber aus der Vermengung der verſchiedenartigen Atome abgeleitet. Die Geſetze dieſer Verbindungen laſſen ſich hieraus gleichſam a priori vorherſagen. Es kann ſich nämlich entweder 1 Atom des erſten Stoffes mit 1 Atom des zweiten gruppiren, oder 2 Atome des einen mit 1 Atom des andern, oder 2 Atome mit 3 Atomen u. ſ. w., wodurch das Geſetz der beſtimmten Verhältniſſe zugleich mit jenem der Vielfachen von ſelbſt gegeben iſt. Nicht minder klar erſcheint das Geſetz der Aequivalente und der zuſammengeſetzten Verbindungen, denn jeder Stoff kann nur durch ſeine Atome auftreten, deren Geſammtgewicht das Gewicht des Stoffes ſelbſt iſt.

71. Da die Miſchungsgewichte zweier Stoffe den Quantitäten

proportional ſind, in welchen dieſe Stoffe ſich verbinden, wie klein immer dieſe Quantitäten ſeyn mögen, ſo kann man in Gedanken bis zu den kleinſten Atomgruppen fortgehen und demnach das Verhältniß der Gewichte dieſer Gruppen dem Verhältniſſe der Miſchungsgewichte gleich ſetzen. Enthalten alſo die mit einander in Verbindung tretenden Quantitäten zweier einfachen Stoffe gleich viel Atome, ſo verhalten ſich die Gewichte eines Atoms des einen und des andern Stoffes gerade wie die Miſchungsgewichte, und man kann in dieſem Falle die Miſchungsgewichte als die relativen Atomgewichte der Stoffe betrachten. Sollte aber der eine Stoff doppelt ſo viele Atome als der andere enthalten, dann wären die Miſchungsgewichte nicht mehr die relativen Atomgewichte, ſondern das Miſchungsgewicht des einen Stoffes wäre doppelt ſo groß als ſein Atomgewicht und eben ſo in anderen Fällen. Obgleich man durch nichts genöthigt wird ſich in derlei Betrachtungen einzulaſſen, da es völlig genügt, bei der durch die Erfahrung gegebenen Thatſache der Miſchungsgewichte ſtehen zu bleiben, ſo haben doch neuere Chemiker die Atome ſelbſt in Erwägung gezogen, deren relative Gewichte nach mehr oder weniger plauſiblen, an ſich aber völlig willkürlichen Vorausſetzungen angenommen und hierauf eine chemiſche Sprache und Bezeichnung der Verbindungen gegründet, von welcher, da ſie bereits allgemein geworden iſt, es nicht räthlich ſeyn dürfte, ohne dringende Nothwendigkeit abzugehen. Man nennt den Inbegriff der erwähnten Annahmen und die auf ſie baſirte Methode zur Berechnung der quantitativen Verhältniſſe chemiſcher Verbindungen die Stöchiometrie, und belegt die Miſchungs- und Atomgewichte mit der gemeinſchaftlichen Benennung ſtöchiometriſche Zahlen.

Bei der Feſtſetzung der Atomgewichte wird angenommen, daß einfache Stoffe in Gasform bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur unter einerlei Volum gleichviel Atome enthalten. Es verhalten ſich daher die Atomgewichte wie die Dichten dieſer Gaſe und die Anzahl der in eine Verbindung eingehenden Gasvolume zeigt zugleich die Anzahl der Atome an. Es verhält ſich z. B. die Dichte des Sauerſtoffgaſes zur Dichte des Waſſerſtoffgaſes unter gleichen Umſtänden wie 11026 : 688; ein gleiches Verhältniß legt man daher den Atomgewichten des Sauerſtoffes und Waſſerſtoffes bei. Nimmt man nun, wie es üblich iſt, das Atomgewicht des Sauerſtoffes = 1 oder = 100, ſo ergibt ſich das Atomgewicht des Waſſerſtoffes aus der Proportion 11026 : 688 = 1 : x mithin = 0,062398 oder = 6,2398. Da aus der Vereinigung von 2 Vol. Waſſerſtoff und 1 Vol. Sauerſtoff Waſſer entſteht, ſo läßt man 1 Atom Waſſer aus 2 Atom Waſſerſtoff und 1 Atom Sauerſtoff zuſammengeſetzt ſeyn. Ein ähnlicher Weg kann ſogar zur Beſtimmung des Atomgewichtes eines Stoffes dienen, der nicht in Gasform vorzukommen pflegt, wie z. B. des Schwefels. Man weiß, daß 1 Vol. Waſſerſtoffgas mit der nöthigen Quantität Schwefel verbunden 1 Volum Schwefelwaſſerſtoffgas gibt; legt man dieſem letzteren Stoffe eine ähnliche Zuſammenſetzung wie dem Waſſer bei, ſo daß 1 Atom desſelben 2 Atome Waſſerſtoff und 1 Atom Schwefel enthält, ſo folgt aus dem Umſtande, daß die Dichte des Schwefelwaſſerſtoffgaſes zu jener des Waſſerſtoffes ſich wie 1778 : 688 verhält, zur Beſtimmung des Atomgewichtes der Schwefelwaſſerſtoffſäure die Proportion

1778 : 688 = x : 6,2398 × 2 woraus x = 213,64 wird. Zieht man hievon das doppelte Atomgewicht des Waſſerſtoffes ab, ſo hat man 213,64 — 12,48 = 201,16 für das Atomgewicht des Schwefels. In anderen Fällen muß man zu noch künſtlicheren Betrachtungen ſeine Zuflucht nehmen, in welche man nach Bedürfniß mancherlei willkürliche Vorausſetzungen verwebt.

Die Stöchiometrie iſt eine der neueren Acquiſitionen der Chemie; die erſte Spur ihrer Begründung geht nicht über das Jahr 1777 hinaus, zu welcher Zeit Wenzel, ein deutſcher Chemiker, auf die beſtimmten Verhältniſſe der ſich verbindenden Körper aufmerkſam gemacht und geſucht zu haben ſcheint ſie durch Verſuche zu begründen; doch erſt Richter hat ſich im Jahre 1796 darüber beſtimmt ausgeſprochen und ſie aus des erſteren Verſuchen nachgewieſen. Er fand aber bei ſeinen Zeitgenoſſen wenig Eingang, theils weil ſeine eigenen Verſuche wenig Genauigkeit beſaßen, theils weil Lavoiſier's damals neue Schöpfung im Gebiete der Chemie die Aufmerkſamkeit der ganzen gelehrten Welt in Anſpruch genommen hatte, und ſo blieb die Sache auf ſich ſelbſt beruhen, bis Prouſt (1804) die Verbindung der Metalle mit Sauerſtoff und Schwefel in beſtimmten Verhältniſſen gegen Berthollet's Behauptungen in Schutz nahm. Während des hierüber zwiſchen beiden mit vieler Mäßigung und tiefer Gründlichkeit geführten Streites machte Gay-Luſſac die wichtige Entdeckung, daß ſich Gaſe ſtets in ſehr einfachen Raumverhältniſſen mit einander verbinden, ein Verhalten, das ſchon früher Dalton, der Gründer der neueren Atomiſtik, gemuthmaßt hatte. Endlich hat der große Chemiſt Berzelius ſeine Aufmerkſamkeit auf dieſen Gegenſtand gerichtet, und ihn durch höchſt genaue und ſinnreiche Verſuche ſo feſt begründet, daß alle Zweifel darüber verſtummen mußten. (Wenzel, Lehre von der Verwandtſchaft, Dresden 1777; Richter über die neueren Gegenſtände der Chemie, Berlin 1796—1798; Prouſt in Gilbert's Annalen, 25, 266; Gay-Luſſac ebend. 36, 5; die Philoſophie der Chemie von Dumas, Berlin 1839.)

72. Um die Beſtandtheile der Stoffe und deren Verbindungsweiſe möglichſt kurz anzeigen zu können, hat man eine eigene chemiſche Zeichenſprache eingeführt, nach welcher jeder Grundſtoff mit dem Anfangsbuchſtaben ſeines lateiniſchen Namens, und daher Sauerſtoff (Oxygenium) mit O, Phosphor mit P ꝛc. bezeichnet wird; nur wo eine Zweideutigkeit zu vermeiden iſt, ſetzt man zu dieſem noch den nächſten charakteriſtiſchen Buchſtaben des Namens. Daher bedeutet Fe Eiſen (Ferrum), Sb Antimon (Stibium), um erſteres vom Fluor F, letzteres vom Schwefel S, vom Zinn Sn (Stannum), vom Kieſel Si (Silicium) ꝛc. zu unterſcheiden. Selbſt manche zuſammengeſetzte Stoffe, die ſich den einfachen analog verhalten, werden durch eigene Zeichen angedeutet, z. B. Cyan durch Cy. Dieſe Zeichen bedeuten zugleich, wenn es ſich um quantitative Beſtimmungen der Beſtandtheile eines Stoffes handelt, Atomgewichte. Unmittelbare Verbindungen der Grundſtoffe werden durch unmittelbares Zuſammenſtellen der Zeichen ihrer Beſtandtheile angedeutet, wobei man, wenn in einer Verbindung von einem Beſtandtheile mehrere Atome vorkommen, ihre Anzahl durch einen Exponenten, oder wie man es gegenwärtig faſt durchgehends in den beſten chemiſchen Werken thut, durch eine dem Zeichen des einfachen Stoffes unten angehängte Zahl anzeigt. Bei Ver-

bindungen zuſammengeſetzter Stoffe werden die nächſten Beſtandtheile durch das Zeichen + zu einem Ganzen verbunden, und dem Zeichen eines zuſammengeſetzten Beſtandtheiles, wovon mehr als ein Atom in die Verbindung eingeht, ein Coefficient, der die Anzahl der Atome angibt, vorgeſetzt. So bedeutet KO Kaliumoxyd, d. i. eine Verbindung von 1 Atom Kalium mit 1 Atom Sauerſtoff, H_2O Waſſer, d. i. eine Verbindung von 2 Atomen Waſſerſtoff mit 1 Atom Sauerſtoff, SO_3 Schwefelſäure (waſſerfreie), d. i. die Verbindung von 1 Atom Schwefel mit 3 Atomen Sauerſtoff; dagegen zeigt $SO_3 + H_2O$ engliſche Schwefelſäure an, welche aus 1 Atom Schwefelſäure und 1 Atom Waſſer beſteht, $CaO + SO_3 + 2H_2O$ kryſtalliſirten Gips, d. i. 1 Atom ſchwefelſaurer Kalk mit 2 Atomen Waſſer verbunden.

Um die Länge der Formeln, vornehmlich jener für complicirte Zuſammenſetzungen zu vermindern, bezeichnet Berzelius die Sauerſtoff-Atome ihres häufigen Vorkommens wegen durch Puncte, die Schwefel-Atome durch Accente, welche über das Zeichen des einfachen Stoffes, mit welchem der Sauerſtoff oder Schwefel verbunden iſt, geſetzt werden; ferner Doppel-Atome eines einfachen Stoffes, indem er durch den Anfangsbuchſtaben desſelben einen Querſtrich führt. Organiſche Säuren deutet er durch den Anfangsbuchſtaben ihres lateininiſchen Namens mit einem darüber geſetzten Querſtriche an. So bedeutet nach dieſer kürzeren Bezeichnung $\dot{K}$ Kaliumoxyd, $\dot{\text{Ħ}}$ Waſſer, $\dddot{S}$ Schwefelſäure (waſſerfreie), $\dddot{S}\dot{\text{Ħ}}$ engliſche Schwefelſäure, $\bar{A}$ Eſſigſäure (Acidum aceticum) u. ſ. w.

73. Grundſtoffe kennt man bis jetzt 55. Man benennt ſie theils nach einzelnen Eigenſchaften, theils nach einem bemerkenswerthen Umſtande in der Geſchichte ihrer Entdeckung; mehrere führen ganz willkürlich gewählte Namen, und für jene, die ſeit den älteſten Zeiten bekannt ſind, und im gemeinen Leben vorkommen, hat man die allgemein gangbaren Benennungen beibehalten. Man hat zur Erleichterung der Ueberſicht ſchon mehrere Eintheilungen der Grundſtoffe verſucht; keine genügt allen Anforderungen. Vor der Hand dürfte es am geeignetſten ſeyn und das Studium am meiſten erleichtern, wenn man die geſammten Grundſtoffe in Gruppen theilt, die man nach der chemiſchen Beſchaffenheit ihrer Verbindungen bildet. Dadurch erreicht man den Vortheil, daß die Kenntniß der Verbindungen eines Gliedes einer Gruppe, einen Vorbegriff von dem Charakter der Verbindungen der anderen Glieder gibt. Solche Gruppen laſſen ſich füglich nachſtehende vierzehn annehmen, in welchen dem Namen jedes Grundſtoffes das Zeichen desſelben und ſein Atomgewicht nach der Angabe von Berzelius (Lehrbuch der Chemie, dritte Auflage 5. Bd. S. 104—128) beigefügt iſt. Das Atomgewicht des Sauerſtoffes iſt dabei = 100,000 geſetzt.

I. Nicht metalliſche Grundſtoffe (Metalloide).

1. Gruppe.	1. Sauerſtoff	O	= 100,000	Die Beſtandtheile der organiſchen Stoffe.
	2. Waſſerſtoff	H	= 6,2398	
	3. Stickſtoff	N	= 88,518	
	4. Kohlenſtoff	C	= 76,438	

2. Gruppe.	5. Chlor	Cl	= 221,326	Haloide (Salzbilder).
	6. Brom	Br	= 489,153	
	7. Jod	J	= 789,750	
	8. Fluor	F	= 116,900	
3. Gruppe.	9. Schwefel	S	= 201,165	
	10. Selen	Se	= 494,583	
	11. Phosphor	P	= 196,143	
4. Gruppe.	12. Kieſel	Si	= 277,312	
	13. Bor	B	= 136,204	

II. Metalle.

A. Leichte Metalle.

5. Gruppe.	14. Kalium	K	= 489,916	Metalle der Alkalien.
	15. Natrium	Na	= 290,897	
	16. Lithium	L	= 80,375	
6. Gruppe.	17. Baryum	Ba	= 856,880	Metalle der alkaliſchen Erden.
	18. Strontium	Sr	= 547,285	
	19. Calcium	Ca	= 256,019	
	20. Magnium	Mg	= 158,352	
7. Gruppe.	21. Aluminium	Al	= 171,166	Metalle der eigentlichen Erden.
	22. Glycium	G	= 331,261	
	23. Zirkonium	Zr	= 420,201	
	24. Yttrium	Y	= 402,514	
	25. Thorium	Th	= 744,900	

B. Schwere Metalle.

8. Gruppe.	26. Arſen	As	= 470,042
	27. Tellur	Te	= 801,760
	28. Antimon	Sb	= 806,452
9. Gruppe.	29. Tantal	Ta	= 1153,715
	30. Titan	Ti	= 303,662
	31. Wolfram	W	= 1183,000
10. Gruppe.	32. Molybdän	Mo	= 598,520
	33. Vanadin	V	= 855,840
	34. Chrom	Cr	= 351,815
11. Gruppe.	35. Osmium	Os	= 1244,487
	36. Rhodium	R	= 651,387
	37. Palladium	Pd	= 665,899
	38. Iridium	Ir	= 1233,499 (Ir, Pt)
	39. Platin	Pt	
	40. Gold	Au	= 1243,013
	41. Silber	Ag	= 1351,607
	42. Queckſilber	Hg	= 1265,823
	43. Kupfer	Cu	= 395,695

12. Gruppe.	44. Uran	U	=2711,358
	45. Zinn	Sn	= 735,296
	46. Wismuth	Bi	= 886,920
13. Gruppe.	47. Blei	Pb	=1294,498
	48. Cadmium	Cd	= 696,767
	49. Zink	Zn	= 403,226
14. Gruppe.	50. Nickel	Ni	= 369,675
	51. Kobalt	Co	= 368,991
	52. Eiſen	Fe	= 339,205
	53. Mangan	Mn	= 345,887
	54. Cer	Ce	nicht genau bekannt.
	55. Lanthan	La	nicht genau bekannt.

Ce wurde früher von Berzelius = 574,796 angeſetzt. Das bisher für reines Cer gehaltene Metall iſt ein Gemenge aus Cer und Lanthan.

Wenn es nur auf angenäherte Beſtimmungen ankommt, wobei man lieber mit einfachen Zahlen rechnet, wie auch zur Erleichterung des Gedächtniſſes beim Kopfrechnen, iſt es bequem, das Doppelatom des Waſſerſtoffes H_2 welches ſtets als das eigentliche Aequivalent dieſes Stoffes auftritt, als Einheit anzunehmen, und die Zahlen für jene Stoffe, die in Doppelatomen in den Verbindungen erſcheinen, zu verdoppeln, d. h. ihre Aequivalente an die Stelle der Atomgewichte zu ſetzen. Hier folgen die am häufigſten in Anwendung kommenden Aequivalente, nach ihrer Größe geordnet. Vor den Namen der Stoffe, deren Doppelatome genommen wurden, ſteht das Zeichen *.

* Waſſerſtoff	1	Zink	32,3
Kohlenſtoff	6	* Chlor	35,5
Sauerſtoff	8	Arſen	37,7
Bor	11	Kalium	39,2
Magnium	12,7	Zinn	59
Aluminium	13,7	Antimon	64,6
* Stickſtoff	14	Barium	68,7
Phosphor	15,7	Wismuth	71
Schwefel	16	* Brom	78,4
* Fluor	18,7	Platin	98,8
Calcium	20,5	Gold	99,6
Kieſel	22,2	Queckſilber	101,4
Natrium	23,3	Blei	103,7
Eiſen	27	Silber	108,3
Kupfer	31,7	* Jod	126,5

74. Aus den hier angeführten Grundſtoffen beſtehen alle Körper, ſowohl der unorganiſchen, als der organiſchen Natur, und zwar durch die Mannigfaltigkeit der Verbindung dieſer Grundſtoffe. Es können zwei, drei und mehre verſchiedene Grundſtoffe eine Verbindung eingehen. Verbindungen zweier Stoffe heißen binäre, dreier ternäre u. ſ. w. So iſt Salpeterſäure, aus Stickſtoff und Sauerſtoff beſtehend eine binäre; Zucker, deſſen Beſtandtheile Kohlenſtoff, Waſſerſtoff und Sauerſtoff ſind, eine ternäre Verbindung. Aber derlei

Verbindungen combiniren ſich ſowohl mit Grundſtoffen als auch mit zuſammengeſetzten zu neuen Gebilden. Man kann zur bequemen Ueberſicht mehrere Ordnungen von Verbindungen unterſcheiden; unmittelbare Verbindungen von Grundſtoffen zur erſten Ordnung, Verbindungen von Gliedern der erſten Ordnung zur zweiten zählen u. ſ. f. Nur muß man bei dieſem Geſchäfte zur Vermeidung von Widerſprüchen und Verwirrung an irgend einer Richtſchnur feſt halten. Eine ternäre Verbindung ABC kann nämlich eben ſo gut zur erſten, als zur zweiten Ordnung gerechnet werden, weil man ſie auch dadurch entſtanden denken kann, daß ſich eine Verbindung von B mit einem Theile von A, und die Verbindung von C mit dem andern Theile von A unter einander vereinigt haben, u. dgl. m. Am beſten iſt es hiebei, auf die Fingerzeige der Natur ſelbſt zu achten. Die Erfahrung lehrt eine Menge zuſammen gehörender Fälle kennen, in welchen ſich einfache Stoffe mit binären Zuſammenſetzungen nicht verbindungsfähig zeigen, z. B. Metalle und Säuren; erſtere müſſen Sauerſtoff oder einen Stellvertreter aufnehmen, um mit Säuren Salze zu geben. Hier kann man wohl die Salze als Verbindungen zweiter Ordnung gelten laſſen, da die Verbindung des Metalles mit dem Sauerſtoff und die Säure, als binäre Stoffe, füglich zur erſten Ordnung gehören. Andererſeits erſcheinen gewiſſe binäre Verbindungen von Grundſtoffen nicht bloß mit einzelnen Grundſtoffen verbindungsfähig, ſondern in ihrem ganzen chemiſchen Verhalten den Grundſtoffen ſelbſt dergeſtalt analog, daß man, wo es auf Zuſammenſtellung des Aehnlichen ankommt, ſich genöthigt ſieht, dieſe zuſammengeſetzten Stoffe mit den einfachen in eine Linie zu ſetzen. Ein ſolcher Stoff iſt das Cyan, aus Stickſtoff und Kohlenſtoff hervorgehend, das mit Sauerſtoff und Waſſerſtoff, ſo gut wie Chlor und Schwefel, Säuren liefert, und ſich mit den Metallen ſo wie die genannten Grundſtoffe verbindet. Da man einen gemeinſchaftlichen Beſtandtheil einer Reihe von Zuſammenſetzungen, deren Mannigfaltigkeit nur auf dem Wechſel eines anderen Beſtandtheiles beruht, recht paſſend mit dem Worte Radical bezeichnet, ſo unterſcheidet man einfache Radicale (Grundſtoffe) von zuſammengeſetzten (den Grundſtoffen analogen), und da merkwürdiger Weiſe die organiſchen (d. h. in Gebilden des Pflanzen- und Thierreiches vorfindigen oder damit zuſammenhängenden) Stoffe auf Verbindung zuſammengeſetzter, wenn gleich meiſtens nicht iſolirt darſtellbarer, alſo bloß hypothetiſch angenommener Radicale mit andern Stoffen beruhen, ſo hat man dadurch zugleich einen ſicheren Anhaltspunct zur Abtheilung der Chemie in ihre zwei Haupttheile, nämlich in die unorganiſche und in die organiſche Chemie, deren erſtere, die aus einfachen, die letztere aber die aus zuſammengeſetzten Radicalen entſpringenden Verbindungen unterſucht.

Es zeigten ſich Fälle, daß Stoffe von gänzlich verſchiedenen chemiſchen Eigenſchaften aus denſelben Elementen, nicht nur nach denſelben quantitativen Verhältniſſe, ſondern auch mit denſelben Atomgewichte und ſogar mit derſelben Zuſammenſetzungsform gebildet ſchienen. Man

nannte ſolche Stoffe **iſomeriſche**. Ihre Exiſtenz wäre nur durch die Annahme einer Verſchiedenheit in der Stellung der Atome begreiflich. Doch iſt in neuerer Zeit die Iſomerie ſehr in Zweifel gezogen worden, da genauere Unterſuchungen die Annahme identiſcher Bildung bei den bisher als iſomer aufgeführten Stoffen, als: den Formen der waſſerhältigen Phosphorſäure; der Cyan- und Knallſäure ꝛc. widerlegten. Dagegen kann in verſchiedenen Stoffen dasſelbe quantitative Verhältniß der Beſtandtheile bei verſchiedenen Atomgewichten ſehr wohl beſtehen. So iſt z. B. Citronenöhl $C_{10} H_{16}$, Terpentinöhl $C_{20} H_{32}$. Derlei Stoffe nennt man **polymeriſche**. Eben ſo können zwei aus verſchiedenen Elementengruppen gebildete und daher verſchiedene Stoffe, dieſelben Elemente mit denſelben Atomgewichten ausweiſen, z. B. Ameiſeneſſigäther $C_4 H_{10} O + C_2 H_2 O_3$ und Methyleſſigäther $C_2 H_6 O + C_4 H_6 O_3$, welche beide als $C_6 H_{12} O_4$ erſcheinen, aber ihre verſchiedene Zuſammenſetzung durch ihre Zerlegungsproducte beurkunden. Derlei Stoffe heißen **metameriſche**. Polymeriſche und metameriſche Stoffe finden ſich vornehmlich unter den organiſchen Verbindungen, wo wenige Elemente in außerordentlicher Mannigfaltigkeit der Combination auftreten.

75. Unter den **binären** Verbindungen, d. i. jenen, die aus einem Radical und irgend einem Grundſtoff beſtehen, ſpielen die des Sauerſtoffes oder Oxygens, mit den einfachen und zuſammengeſetzten Radicalen die größte Rolle. Man nennt dieſe Verbindungen **oxydirte Stoffe** oder **Oxyde** im weiteſten Sinne des Wortes. Der Act ihrer Bildung heißt Oxydation. Die oxydirten Stoffe zerfallen in vier Gruppen, in **ſaure** Oxyde oder **Säuren**, in **baſiſche** Oxyde oder **Baſen**, in **Suboxyde** und in **Superoxyde**. Die Säuren und Baſen, zwiſchen welchen ein bloß relativer Unterſchied beſteht, verbinden ſich unter einander zu **Salzen**. Ein Oxyd, das erſt noch Sauerſtoff aufnehmen muß, um als Baſis auftreten zu können, heißt **Suboxyd**; jenes, welches aber zum Behufe ſeiner Verbindung mit einer Säure Sauerſtoff fahren läßt, wird **Superoxyd** genannt. Gibt es von einem Stoffe mehrere baſiſche Oxyde, ſo heißt das mit der geringſten Sauerſtoffmenge **Oxydul**, das mit der größeren **Oxyd** in **engerer** Bedeutung. Eben ſo unterſcheidet man zwei Suboxyde oder zwei Superoxyde deſſelben Stoffes durch die Benennungen **Suboxydul** und **Suboxyd**, oder **Superoxydul** und **Superoxyd**.

76. Der Sauerſtoff kann in den binären Verbindungen auch durch andere einfache Stoffe, durch Chlor, Brom, Jod, Fluor, Schwefel, Selen, Phosphor vertreten werden. Man bezeichnet die auf ſolche Weiſe entſtehenden Verbindungen jenen des Sauerſtoffes anolog durch die Benennungen: **Chloride**, **Bromide**, **Jodide**, **Fluoride**, **Sulphuride** ꝛc. Einige Chemiker rechnen ſie auch zu den Salzen und nennen ſie nach **Berzelius** Vorgange **Haloidſalze**, zum Unterſchiede von den **Amphidſalzen**, welche Verbindungen binärer Zuſammenſetzungen ſind, mithin einer höheren Ordnung angehören. Da, wo es nur **eine** Verbindung zwiſchen einem **Salzbilder** oder **Haloid** und einem Radical gibt, bezeichnet man ſie dadurch, daß man die Namen der beiden Beſtandtheile aneinander fügt, wie z. B. Chlorkalium, Jodſtickſtoff; wo aber zwei oder mehrere ſolcher Verbindungen exiſtiren, heißt die mit der geringeren Menge

Chlor, Brom, Jod ꝛc., Chlorür, Bromür, Jodür ꝛc., und die mit der größten Chlorid, Bromid, Jodid ꝛc. Nicht ſelten ſetzt man der aus den Namen beider Beſtandtheile gebildeten Benennung der Verbindung noch die Bezeichnung einfach, anderthalb (sesqui), doppelt, u. ſ. w. vor, um dadurch anzuzeigen, daß in dieſer Verbindung ein einfaches, $1\frac{1}{2}$faches, 2faches Quantum Chlor, Brom, Jod ꝛc. enthalten ſey. Uebrigens werden viele hieher gehörende Verbindungen mit Trivialnamen belegt, und man ſagt lieber Kochſalz ſtatt Natriumchlorid oder Chlornatrium, ſo wie man auch bei Oryden den kurzen Namen Waſſer ſtatt Waſſerſtofforyd, Kali ſtatt Kaliumoryd u. dgl. gebraucht. Gleichwie man ſaure und baſiſche Oryde als Beſtandtheile der Sauerſtoffſalze unterſcheidet, eben ſo laſſen ſich binäre Verbindungen, worin Haloide vorkommen, bezüglich ihres Antheiles an einer Verbindung der zweiten Ordnung, in dieſe zwei Claſſen bringen. Jene binären Verbindungen überhaupt, deren ſaure oder baſiſche Natur nicht ſcharf ausgeſprochen iſt, und die ſich daher bald als Baſen, bald als Säuren zeigen, hat man ſonſt indifferente Stoffe genannt. Wir wollen nun ſogleich den allgemeinen Charakter der Säuren und Baſen näher ins Auge faſſen.

77. Säure iſt der Wortbedeutung nach ein ſauer ſchmeckender Stoff. Seit langem bemerkte man die unverkennbare Aehnlichkeit unter den ſauer ſchmeckenden Stoffen in ihrem chemiſchen Verhalten, beſonders in Bezug auf die Fähigkeit, mit den geeigneten Subſtanzen ſalzartige Verbindungen zu liefern. Man faßte daher dieſelben unter der Benennung »Säuren« in eine eigene Claſſe, gleichſam in eine natürliche Gruppe zuſammen. Da aber ſauer ſchmeckende Körper zugleich blaue Pflanzenſäfte, als Veilchenſyrup, Kohltinctur, Lackmusauflöſung u. m. a. röthen, und zwar ſelbſt dann noch, wenn ſie durch Waſſer ſo ſehr verdünnt ſind, daß ſie den Geſchmacksſinn nicht mehr zu afficiren vermögen; ſo hielt man jene Wirkung für geeigneter zu einem charakteriſtiſchen Kennzeichen, und betrachtete alles als Säure, was dieſe Farbenänderung hervorbringt, wenn es auch nicht ſauer ſchmeckt, wie z. B. die Blauſäure, die Schwefelwaſſerſtoffſäure. Allein damit ein Körper dieſe Farbenänderung hervorbringen könne, muß er im Waſſer löslich ſeyn, und doch gibt es viele Körper, die mit den Lackmus, Veilchenſyrup ꝛc. röthenden in allen, ihre chemiſche Natur charakteriſirenden Eigenſchaften übereinſtimmen, und daher mit denſelben in eine Claſſe gezählt werden müſſen, ohne im Waſſer auflöslich zu ſeyn, wie z. B. die Kieſelſäure; darum nennt man heut zu Tage alle jene Körper Säuren, die in ihrem chemiſchen Verhalten mit den, gewiſſe Pflanzenfarben röthenden, übereinſtimmen. Dieſem Verhalten gemäß, iſt ein Körper nicht an und für ſich, ſondern bloß im Verhältniſſe zu anderen eine Säure. Um hierüber in das Reine zu kommen, muß man von jenen Stoffen ausgehen, die ſich ſo entſchieden als Säuren beurkunden, daß über ihre Beſchaffenheit kein Zweifel obwaltet, als: Schwefelſäure, Salpeterſäure u. dgl. Wird nun eine Verbindung zweiter Ordnung durch irgend eine ſolche Säure zerlegt,

indem ſich dieſe mit einem der beiden binären Beſtandtheile verbindet, und den andern austreibt, ſo iſt der vertriebene hinſichtlich des feſtgehaltenen als Säure, der letztere hinſichtlich des erſteren als Baſis zu betrachten. Die Erfahrung beſtätiget die Richtigkeit dieſes Verfahrens dadurch, daß wenn A gegen B, und B gegen C als Säure erſcheint, in keinem Falle A gegen C als Baſis, ſondern immer als Säure gefunden wird, ſo daß ſich aus den unterſuchten Stoffen eine Reihe bilden läßt, in der ſich jedes vorangehende Glied gegen jedes nachfolgende als Säure, jedes nachfolgende gegen jedes vorangehende als Baſis verhält.

78. Jede Säure beſteht aus dem Radical und dem ſäuernden Princip; nach der gewöhnlichen Vorſtellungsweiſe iſt letzteres in der Regel entweder Sauerſtoff, der von dieſer Function ſogar den Namen trägt, oder Waſſerſtoff; es können aber auch andere Grundſtoffe die Rolle des ſäuernden Princips übernehmen, z. B. Schwefel. Man unterſcheidet ſonach Sauerſtoffſäuren, Waſſerſtoffſäuren, Sulfoſäuren (Sulfide) u. ſ. w. Manches Radical verbindet ſich in mehreren Verhältniſſen mit dem ſäuernden Princip, und liefert daher mehrere Säuren, die nicht durch die Natur ihre Beſtandtheile, ſondern durch deren quantitatives Verhältniß von einander abweichen.

79. Man benennt die Säuren in der Regel nach ihren Beſtandtheilen, und zwar, wenn ſie Sauerſtoffſäuren ſind, bloß nach dem Radicale, indem man demſelben das Wort Säure nachſetzt; ſind ſie Waſſerſtoffſäuren, ſo ſetzt man ihm entweder die Sylbe Hydro, und bei Sulfiden die Sylbe Sulfo vor, oder das Wort »Waſſerſtoffſäure« nach. So heißt die aus Jod und Sauerſtoff beſtehende Säure Jodſäure, eine aus Chlor und Sauerſtoff zuſammengeſetzte Chlorſäure; aber die aus Jod und Waſſerſtoff gebildete Säure wird entweder Hydrojodſäure oder Jodwaſſerſtoffſäure, die aus Chlor und Waſſerſtoff gebildete entweder Hydrochlorſäure oder Chlorwaſſerſtoffſäure genannt. Verbindet ſich ein Radical in mehreren Verhältniſſen mit Sauerſtoff, ſo wird die den meiſten Sauerſtoff enthaltende ſaure Verbindung nach der vorhergehenden Regel, die mit der nächſt kleineren Sauerſtoffmenge durch das Radical, als Adjectiv gebraucht, mit Beifügung der Sylbe ig benannt. So heißt z. B. die aus Chlor mit der größeren Sauerſtoffmenge beſtehende Säure, Chlorſäure, die mit der nächſt kleineren Sauerſtoffmenge, chlorige Säure. Kennt man von einem Stoffe mehr als zwei Säuren, ſo bezeichnet man die Rangordnung der übrigen dadurch, daß man den auf die vorerwähnte Weiſe gebildeten Bezeichnungen die Sylbe Ueber oder Unter vorſetzt. So gibt es vier aus Schwefel und Sauerſtoff beſtehende Säuren, die ihrem Range nach ſo auf einander folgen: Schwefelſäure, Unterſchwefelſäure, ſchwefelige Säure, unterſchwefelige Säure. Die Säuren des Chlor heißen nach dem Grade ihrer Oxydation: Ueberchlorſäure, Chlorſäure, chlorige Säure ꝛc. Man ſucht die Benennungen immer ſo zu wählen, daß der Name einer bereits bekannten und benannten

Säure durch eine neu entdeckte nicht geändert zu werden braucht. Die trivialen Benennungen mancher oft vorkommenden Säuren ſind von ihrem Gebrauche, von dem Stoffe, aus dem ſie erzeugt werden ꝛc. hergenommen. So z. B. nennt man die verdünnte Stickſtoffſäure Scheidewaſſer, weil ſie zum Scheiden des Goldes, welches ſich nicht darin auflöſt, von anderen Metallen gebraucht wird, oder Salpeterſäure, weil ſie aus Salpeter gewonnen wird; die meiſtens aus Kochſalz bereitete Hydrochlorſäure heißt Salzſäure ꝛc.

80. Baſen ſind in chemiſcher Beziehung den Säuren gerade entgegengeſetzt. Die ſchwächeren Baſen ſtehen den Säuren ziemlich nahe, und ſpielen ſelbſt manchmal die Rolle einer Säure; bei den ſtärkeren aber geht der Gegenſatz mit den Säuren ſo weit, daß ſie die durch Säuren veränderten Pflanzenfarben, z. B. jene der Lackmustinctur wieder herſtellen, und ſelbſt eine Aenderung in den natürlichen Farben vieler Pflanzenſäfte bewirken (ſie färben den Veilchenſyrup, die Kohltinctur ꝛc. grün, die Curcumetinctur braun), welche Aenderung aber wieder durch Säuren aufgehoben wird. Die Mehrzahl der Baſen ſind Metalloxyde. Diejenigen, bei welchen die baſiſche Natur am ſtärkſten hervortritt, heißen Alkalien oder alkaliſche Erden, je nachdem ſie im Waſſer leicht oder nur wenig löslich ſind, auch die ſchlechtweg Erden genannten Körper gehören hieher; ſelbſt das Pflanzen- und Thierreich liefert Baſen, wovon einige ſogar Spuren einer alkaliſchen Natur an ſich tragen.

81. Unter den Verbindungen der zweiten Ordnung ſind die ſtreng ſo zu nennenden Salze oder die Amphidſalze die wichtigſten. Man verſteht darunter, wie bereits oben geſagt wurde, Verbindungen der Säuren mit Baſen. Hievon ſind lediglich die durch Sauerſtoff- und durch Sulfoſäuren gebildeten (ſogenannten Sauerſtoffſalze und Schwefelſalze) unterſucht. Dieſe Salze ſind im waſſerfreien Zuſtande feſt, und wenn ſie rein ſind und aus farbloſen Baſen und Säuren beſtehen, auch farblos; die aus farbigen Baſen beſtehenden haben meiſtens die Farbe der waſſerhältigen Baſis, oder eine ihr ähnliche, doch hängt die Farbe überhaupt ſtark von dem Waſſergehalte ab. Die meiſten Salze ſind im Waſſer löslich und haben einen eigenthümlichen Geſchmack; ihre Löslichkeit im Waſſer hängt von der Natur der Säure und Baſis, vom Oxydationszuſtande der letzteren, vom Miſchungsverhältniſſe der zwei Beſtandtheile und von der Temperatur ab; ſie brauchen faſt durchaus dem Gewichte nach mehr Waſſer, als ihr eigenes Gewicht beträgt. Man theilt die Salze nach der Säure in Gattungen und dieſe nach der Baſis in Arten ein. So z. B. bilden die ſchwefelſauren, ſalpeterſauren, kohlenſauren Salze Gattungen; ſchwefelſaurer Kalk, ſchwefelſaures Kali, ſchwefelſaures Eiſenoxyd Arten der Gattung ſchwefelſaure Salze. Man bezeichnet ſie dadurch, daß man der Baſis den zu einem Adjectiv umgeformten Namen der Säure vorſetzt, wie die vorhergehenden Beiſpiele zeigen; viele Salze haben auch Trivialnamen, welche ihrer Kürze wegen oft auch in der Wiſſenſchaft mit Nutzen gebraucht werden. So ſagt man

z. B. Salpeter ſtatt ſalpeterſaures Kaliumoxyd, Glauberſalz ſtatt waſſerhältiges, kryſtalliſirtes, ſchwefelſaures Natriumoxyd. Jede Gattung der Salze hat einen eigenthümlichen Charakter und unterſcheidet ſich dadurch von den übrigen Gattungen. Die Sauerſtoffſalze ſind entweder neutrale oder ſaure oder baſiſche. Man nennt ein Salz neutral, welches für jedes Atom Sauerſtoff der Baſis ein Atom Säure enthält. Dem gemäß verhält ſich z. B. in allen neutralen ſchwefelſauren Salzen der Sauerſtoffgehalt der Säure zu jenem der Baſis wie 3 : 1, in den ſalpeterſauren Salzen wie 5 : 1 u. ſ. w. Iſt der Sauerſtoffgehalt der Säure größer, ſo heißt das Salz ſauer, iſt er geringer, ſo wird das Salz baſiſch genannt. Es enthält demnach keinen Widerſpruch, wennn man ſagt, die Auflöſungen der neutralen Eiſenoxydſalze röthen den Lackmus. Es kann ſich aber nicht jede Baſe in dieſem dreifachen Verhältniſſe mit einer Säure zu Salzen verbinden, ſo wie überhaupt nicht jede Baſe mit einer Säure ein Salz gibt. Noch müſſen die Doppelſalze erwähnt werden, die aus der Verbindung zweier Salze hervorgehen. Gewöhnlich ſind bei dieſen nur die Baſen verſchieden, die Säure beider Salze aber iſt dieſelbe, wie z. B. beim Alaun, der aus ſchwefelſaurem Kali und ſchwefelſaurer Alaunerde beſteht. Doch gibt es auch Doppelſalze anderer Art.

Früher nannte man ein Salz neutral, in welchem die Eigenſchaften der Säure und Baſis ſich gegenſeitig aufgehoben haben; ein Salz worin die Säure vorwaltet, hieß ſauer; ein ſolches worin die Baſis überwiegt, baſiſch, und es wurde dieſer Charakter durch das Verhalten gegen farbige Pflanzenſäfte erkannt. Der mit dem Worte Salz ſelbſt zu verbindende Begriff hat ſich im Verlaufe der Entwicklung der Wiſſenſchaft mehrere Male geändert, und man kam zuletzt ſogar in Gefahr, das Vorbild aller Salze, das Kochſalz, von der Gruppe der Salze auszuſchließen. Induction und Analogie führen in Erfahrungswiſſenſchaften zu Anſichten, und veranlaſſen eben ſo bei geſteigerter Erfahrung dieſe wieder aufzugeben und gegen andere umzutauſchen. Die älteren Chemiker nannten jeden in wenigſtens 500 Theilen Waſſer löslichen Stoff ein Salz; ſie ſprachen von ſauren Salzen (Säuren), Laugenſalzen (Alkalien), Neutralſalzen (Verbindungen der Säuren mit Laugenſalzen), Mittelſalzen (Verbindungen der Säuren mit Erden und Metallkalken), von welchen letzteren ſie erdige und metalliſche unterſchieden. Später nannte man nur Verbindungen von Sauerſtoffſäuren mit Metalloxyden und Ammoniak Salze; das Kochſalz galt als ſalzſaures Natriumoxyd; die Salzſäure ſelbſt als die Sauerſtoffſäure eines unbekannten Radicals, und Chlor als oxydirte Salzſäure. Probehältige Analogien veranlaßten hierauf die Salzſäure als eine Waſſerſtoffſäure des Chlors zu betrachten; Salzſäure und Natriumoxyd geben dieſer Anſicht gemäß Natriumchlorid und Waſſer; letzteres entſpringt aus dem Waſſerſtoff der Säure und dem Sauerſtoff des Oxydes: waſſerfreies Kochſalz ſelbſt iſt Natriumchlorid. Wollte man nun das Kochſalz und viele andere ähnliche Stoffe nicht aus der Liſte der Salze ſtreichen, ſo mußte man zwei verſchiedene Gattungen Salze, Haloidſalze und Amphidſalze annehmen und zu letzteren die Sauerſtoffſalze rechnen. Es läßt ſich nicht läugnen, daß damit die Einfachheit der älteren Anſicht verloren geht; deßhalb ſcheint es nicht unangemeſſen, die zwiſchen den Haloid- und Amphidſalzen beſtehende Kluft dadurch zu be-

ſeitigen, daß man dem Gebiete der Waſſerſtoffſäuren jene Ausdehnung gibt, welche ſchon Davy, der Urheber der Chlortheorie, entworfen hatte, und ihr gemäß die Sauerſtoffſalze dem Bildungsgeſetze der binären, d. i. der Haloidſalze unterwirft. Nach der gegenwärtig allgemein herrſchenden Vorſtellungsweiſe iſt z. B. waſſerfreie Schwefelſäure SO_3, engliſche Schwefelſäure (Schwefelſäurehydrat) $SO_3 + H_2O$, Glauberſalz $SO_3 + NaO$; man kann aber auch in den beiden letztgenannten Zuſammenſetzungen den Sauerſtoff des zweiten Beſtandtheiles auf den erſten übertragen und Schwefelſäurehydrat als $SO_4 + H_2$, Glauberſalz als $SO_4 + Na$ betrachten. Wird nun die Verbindung SO_4 als hypothetiſches Radical angenommen, das wie Chlor, Jod, Cyan ꝛc. mit Waſſerſtoff eine Säure, mit Metallen ſalzartige Verbindungen liefert, ſo erſcheint die engliſche Schwefelſäure als Waſſerſtoffſäure, und das Glauberſalz ganz dem Kochſalze analog gebildet. Es iſt klar, daß dieſe Vorſtellungsweiſe ſich auf alle andern Sauerſtoffſäuren und deren Salze übertragen läßt. Ihr gemäß verwandeln ſich dieſe Säuren, in ſofern ſie Waſſer enthalten, in Waſſerſtoffſäuren; im waſſerfreien Zuſtande treten ſie aus der Claſſe der Säuren heraus, und die eigentlichen Sauerſtoffſäuren verſchwinden gänzlich. Wird dieſe Theorie der Erklärung der chemiſchen Verbindungen zum Grunde gelegt, ſo kann das oben (74) angegebene Unterſcheidungsmerkmal zwiſchen unorganiſcher und organiſcher Chemie nicht aufrecht erhalten werden, denn auch die unorganiſche Chemie hat es dann mit zuſammengeſetzten Radicalen zu thun, und erfreut ſich der Vortheile, welche die Betrachtung derſelben der organiſchen Chemie gewährt. Die Aufmerkſamkeit, welche ausgezeichnete Autoritäten der Sache widmen, läßt künftige Reformen in der chemiſchen Sprache erwarten, weßwegen dieſer Gegenſtand hier nicht mit Stillſchweigen übergangen werden konnte. (S. Liebig in Geiger's Handbuch der Pharmacie 1. Bd. 5. Aufl. Heidelberg 1839. S. 604; Graham's Lehrbuch der Chemie. Braunſchweig 1840. 1. Bd. S. 326. 2. Bd. S. 303.)

82. Nun mag eine kurze Charakteriſtik der einfachen Stoffe und ihrer vorzüglichſten binären Verbindungen folgen.

Den Sauerſtoff oder das Oxygen O kennt man im freien Zuſtande nur als Gas. Man erhält das Sauerſtoffgas durch Zerſetzung mehrerer ſauerſtoffhaltigen Körper, wie z. B. des rothen Queckſilberoxydes, des ſchwarzen Braunſteines, des chlorſauren Kali's ꝛc. mittelſt Hitze. Das Sauerſtoffgas iſt geſchmack- und geruchlos und nicht ſichtbar, es wird vom Waſſer nur in ſehr geringer Menge aufgenommen; es unterhält das Athmen und Brennen viel beſſer als atmoſphäriſche Luft, ſo zwar, daß ein Thier in einer Portion Sauerſtoffgas 5—6mal länger leben kann, als in einer gleichen Portion atm. Luft, und daß Körper, die in der atm. Luft nur matt brennen, wie z. B. eine Stahlfeder, eine Kohle, im Sauerſtoffgaſe mit ungemeiner Lebhaftigkeit verbrennen. Darum heißt dieſes Gas auch Lebensluft oder Feuerluft. — Der Sauerſtoff geht faſt mit allen Grundſtoffen Verbindungen ein. Was man im gemeinen Leben Verbrennen nennt, iſt in der Regel eine Oxydation. Man hat dieſe Benennung ſogar auf den Fall übertragen, wenn die Verbindung des Sauerſtoffes mit einem Körper ohne Licht und auffallende Wärmeentwicklung erfolgt, und unterſcheidet demgemäß ein langſames und ein raſches Verbrennen. Davon an einem andern Orte mehr.

Das rothe Queckſilberoxyd HgO zerfällt, in einer kleinen Glasretorte mittelſt einer Weingeiſtlampe mit doppeltem Luftzuge ſtark erhitzt, in Queckſilber, welches man in einem vorgelegten Ballon auffängt, und in Sauerſtoff, der in die pneumatiſche Vorlage übergeht. Reiner Braunſtein iſt Manganhyperoxyd MnO_2, er gibt bei gelindem Glühen 9, bei heftigem Glühen 12, mit Schwefelſäure übergoſſen und mäßig erhitzt 18 Procente ſeines Gewichtes Sauerſtoff ab, und verwandelt ſich im erſten Falle in Manganoxyd, im zweiten in Oxyduloxyd, im dritten in Oxydul, welches letztere ſich in der Schwefelſäure auflöſt. Am leichteſten und ſehr rein erhält man aber das Sauerſtoffgas aus dem chlorſauren Kali $KO + Cl_2O_5$, welches in einer kleinen gläſernen Retorte mit pneumatiſcher Vorlage mittelſt einer Weingeiſtlampe über den Schmelzpunct erhitzt, ſich ſo zerſetzt, daß in der Retorte KCl_2 zurückbleibt und 6 At. O ausgeſchieden werden. Demnach liefert dieſes Salz 39 Procente ſeines Gewichtes Sauerſtoff, alſo 1 Loth davon 260 Kubikzoll oder nahe $3\frac{1}{3}$ Maß Sauerſtoffgas. Mit ſehr gelinder Hitze geht die Operation vor ſich, und gewinnt dadurch ausnehmend an Bequemlichkeit, wenn man das chlorſaure Kali mit reinem Braunſtein mengt, etwa 2 Gewichtstheile chlorſaures Kali mit 1 Th. Braunſtein. Doch hat hier die Erwärmung mit Aufmerkſamkeit zu geſchehen, um allzuraſcher Gasentwicklung vorzubeugen; ſobald dieſe lebhaft wird, entfernt man die Flamme. Der Braunſtein an ſich bleibt hiebei unzerlegt. Man braucht das Sauerſtoffgas zu Reſpirationsapparaten, zur Belebung erſtickter Scheintodter, zum Verbrennen ſchwer brennbarer Stoffe. Es wurde 1774 von Prieſtley und 1775 von Scheele entdeckt.

83. Auch freien Waſſerſtoff (Hydrogen) H kennt man nur in gasförmigem Zuſtande; er wird durch Zerſetzung des Waſſers erhalten. Das Waſſerſtoffgas iſt farb-, geſchmack- und im reinen Zuſtande auch geruchlos, wird vom Waſſer nur in geringer Menge aufgenommen, es iſt die leichteſte aller Gasarten, weder zum Athmen, noch zur Unterhaltung des Brennens geeignet; ſelbſt kann es aber in Berührung mit atmoſphäriſcher Luft angezündet werden und fortbrennen. Man kennt zwei Verbindungen des Waſſerſtoffes mit dem Sauerſtoffe, das Waſſer H_2O und das Waſſerſtoffſuperoxyd HO.

Leitet man Waſſerdämpfe durch ein glühendes eiſernes Rohr, ſo oxydirt ſich das Eiſen, und es entwickelt ſich Waſſerſtoffgas. Das Gewicht dieſes Gaſes und die Gewichtszunahme des Eiſens machen zuſammen genau das Gewicht des conſumirten Waſſers aus, wodurch man zugleich den Beweis hat, daß das Waſſer aus Sauerſtoff und Waſſerſtoff beſteht. Am bequemſten aber erhält man Waſſerſtoffgas, wenn man verkleinertes Eiſen oder Zink mit Schwefelſäure, der man Waſſer zugeſetzt hat, in Berührung bringt. Die Verwandtſchaft der Schwefelſäure zum Eiſen- oder Zinkoxyde nöthigt das Waſſer, ſeinen Sauerſtoff an genanntes Metall abzutreten, wodurch der Waſſerſtoff in Freiheit geſetzt wird. Die fremdartigen Beſtandtheile, mit welchen das auf dieſe Weiſe bereitete Waſſerſtoffgas wegen Unreinheit des Eiſens oder Zinkes verunreinigt und denen der Geruch desſelben zuzuſchreiben iſt, ſchafft man dadurch weg, daß man es durch paſſende Subſtanzen leitet, z. B. durch Queckſilberſublimatlöſung wegen eines darin befindlichen Antheiles Arſenik, durch Kalihydrat wegen des Schwefels, durch Weingeiſt wegen des aus Kohle und Waſſerſtoff ſich bildenden flüchtigen Oehles. Man kann das Waſſerſtoffgas zum Füllen der Luftbälle, zu Zündmaſchinen ꝛc. benützen. Seine große Leichtigkeit zeigt

ſich am einfachſten durch das Aufſteigen von Seifenblaſen, die mit dieſem Gaſe gefüllt ſind. Man kennt den Waſſerſtoff erſt ſeit dem Jahre 1781 näher durch Cavendiſh und Lavoiſier's Verſuche über die Zuſammenſetzung des Waſſers. Die Entzündlichkeit der bei der Auflöſung von Zink in verdünnter Schwefelſäure ſich entwickelnden Luftart war längſt bekannt.

84. Zur Bildung von Waſſer H_2O ſind genau zwei Raumtheile Waſſerſtoffgas und ein Raumtheil Sauerſtoffgas bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur erforderlich. Hieraus folgt, mit Rückſicht auf die Dichten dieſer Gaſe, daß 100 Gewichtstheile Waſſer aus 11,09 Theilen Waſſerſtoff und 88,91 Sauerſtoff beſtehen. Nur das unmittelbar aus ſeinen Beſtandtheilen erzeugte oder das durch Deſtillation des gewöhnlich vorkommenden Waſſers erhaltene iſt rein. In dieſem Zuſtande iſt es geſchmack- und geruchlos, höchſt durchſichtig, in kleinen Maſſen ohne merkliche Farbe, in größeren bläulichgrün. Das reinſte natürlich vorfindige Waſſer trifft man in den Eishöhlungen der Gletſcher an, wo es bloß mit Eis und Luft in Berührung ſteht, und aus letzterer keine organiſche Stoffe aufnehmen kann. Das Waſſer ſpielt als allgemeines Auflöſungsmittel eine wichtige Rolle; mit vielen Stoffen geht es innigere chemiſche Verbindungen ein, die man Hydrate nennt.

Mengt man Waſſerſtoff- und Sauerſtoffgas in dem zur Waſſerbildung nöthigen Verhältniſſe und zündet das Gemenge an, was auch mittelſt eines elektriſchen Funkens geſchehen kann, ſo erfolgt die Verbrennung des Waſſerſtoffes in der ganzen Maſſe auf einmal, und es können durch die wegen der Temperaturerhöhung bedeutend geſteigerte Ausdehnſamkeit des gebildeten Waſſerdunſtes ſelbſt ſtarke Gefäße zerſprengt werden. Schwache Hüllen des Gasgemenges, z. B. Seifenblaſen, platzen bei deſſen Entzündung mit einem ſtarken Knalle, weßwegen dieſes Gemenge Knallluft heißt. Um daher die Verbindung des Waſſerſtoffes mit dem Sauerſtoffe auf dieſem Wege zur Nachweiſung der quantitativen Zuſammenſetzung des Waſſers gefahrlos zu bewerkſtelligen, muß man entweder nur kleine Gasmengen in einer ſogenannten Verpuffungsröhre (ſiehe die ſpäter vorkommende Beſchreibung der Eudiometer) behandeln, oder Waſſerſtoffgas, das aus einem Gaſometer nur nach Bedarf zuſtrömt, in Sauerſtoffgas vorſichtig brennen laſſen. Auch kann die bereits früher erwähnte Eigenſchaft des Platins zu dieſem Zwecke benützt werden. Man findet die Zuſammenſetzung des Waſſers unmittelbar in Gewichtstheilen ſehr genau durch Reduction eines bekannten Quantums Kupferoxyd mittelſt eines darüber geleiteten Stromes Waſſerſtoffgas und nachherige Beſtimmung des Gewichtes des erzeugten Waſſers, indem aus dem Gewichte des Kupferoxydes CuO und aus der Art ſeiner Zuſammenſetzung das Gewicht des vorhandenen Sauerſtoffes, der mit dem Waſſerſtoff Waſſer bildet, bekannt iſt.

Das gewöhnliche Waſſer nimmt vermöge ſeiner vielſeitigen Verwandtſchaft Körper von verſchiedener Art auf, meiſtens aber Salze und Luftarten; durch erſtere bekommt es einen eigenthümlichen Geſchmack und wird zu manchem techniſchen Zwecke unbrauchbar; es heißt dann hartes Waſſer. Viele Stoffe nimmt es mechaniſch mit ſich fort, ſetzt ſie aber in der Ruhe wieder größtentheils ab. Waſſer, das organiſche Stoffe aufgenommen hat, bekommt einen übeln Geruch und Geſchmack, wird aber oft mit der Zeit wieder rein und trinkbar, weil dieſe Stoffe

durch Fäulniß zu Grunde gehen. Aber ohne dieſes abzuwarten, kann man Waſſer reinigen, indem man es durch abwechſelnde Schichten von Kohle und Sand oder durch mehrere Sandſchichten leitet. Selbſt das reinſte Waſſer verdirbt mit der Zeit, weil es aus der Luft oder aus den Gefäßen, in denen es aufbewahrt wird, organiſche Stoffe aufnimmt. Durch Kohle, auch durch eine geringe Portion Kalk oder ſalpeterſaures Silber, kann man es vor dem Verderben lange Zeit ſchützen.

Das Waſſerſtoffſuperoxyd, welches doppelt ſo viel Sauerſtoff enthält, als das Waſſer bei gleicher Menge des Waſſerſtoffes, iſt eine farbloſe, äußerſt leicht zerſetzbare Flüſſigkeit von Syrupdicke, die bei — 30° C. noch nicht gefriert. Es wurde von Thenard 1818 entdeckt.

85. Den Stickſtoff (Azot, Nitrogen) N kennt man gleichfalls nur als Gas. Dieſes beſitzt faſt nur negative Eigenſchaften, hat keine Farbe, keinen Geſchmack, keinen Geruch, wird vom Waſſer faſt gar nicht aufgenommen, unterhält das Brennen nicht und taugt nicht zum Einathmen. Man erhält das Stickgas, wenn man der atmoſphäriſchen Luft, die ein Gemenge von Sauerſtoff- und Stickgas iſt, den Sauerſtoff durch ein mit demſelben ſtark verwandtes Mittel, z. B. durch Phosphor, entreißt. Der Stickſtoff verbindet ſich mit vielen Stoffen, aber mit keinem unmittelbar. Mit Sauerſtoff gibt er vier Verbindungen, die Salpeterſäure N_2O_5, die ſalpetrige Säure N_2O_3, das Stickoxyd (Salpetergas) N_2O_2 und das Stickoxydul N_2O. Mit Waſſerſtoff bildet er das Ammoniak N_2H_6.

Sehr leicht bereitet man das Stickgas nach Soubeiran, wenn man ein Gemenge von Salpeter und Salmiak in einer kleinen Retorte erhitzt, und das ſich entwickelnde Gas zur Reinigung durch eine Aetzkalilöſung leitet. Hier zerlegen ſich der Salpeter $KO + N_2O_5$, und der Salmiak $N_2H_8Cl_2$ gegenſeitig; es verbindet ſich der Sauerſtoff und das Kalium des erſteren mit dem Waſſerſtoffe und dem Chlor des letzteren zu Waſſer und Chlorkalium, und der Stickſtoff beider wird mit etwas Chlor, Salzſäure und ſalpetrigſaurem Gas verunreingt, ausgeſchieden. Das Stickgas wurde zuerſt 1772 durch Rutherford unterſucht.

Die Salpeterſäure oder vielmehr deren Hydrat $N_2O_5 + H_2O$ erhält man, wenn man verkleinerten Salpeter mit faſt gleicher Gewichtsmenge (97. pCt) concentrirter Schwefelſäure mäßig erhitzt, wobei Salpeterſäure mit einem Antheil Waſſer (ohne welches ſie nicht exiſtiren kann, ſondern ſogleich in Stickſtoff und Sauerſtoff zerfällt) ausgeſchieden wird, und in die Vorlage übergeht. Der Salpeter iſt $KO + N_2O_5$, die hier anzuwendende Schwefelſäure $2\,(SO_3 + H_2O)$. In der Retorte bleibt zweifach ſchwefelſaures Kali, in Verbindung mit einem Antheile Waſſer, d. i. $KO + 2\,SO_3 + H_2O$ zurück, während $N_2O_5 + H_2O$ frei wird. Nimmt man, wie früher gebräuchlich war, bloß halb ſo viel Schwefelſäure als Salpeter, ſo iſt eine höhere Temperatur zur Operation nöthig; in der Retorte bleibt zuletzt einfach ſchwefelſaures Kali, aber es wird, wie Mitſcherlich, dem wir die Aufklärung über dieſe Vorgänge verdanken, gezeigt hat, ein Theil der Salpeterſäure zerlegt, und geht verloren, was man an der reichlichen Entwicklung von Sauerſtoffgas erkennt. Während der Operation ſelbſt entwickeln ſich gelblich-rothe Dämpfe, die ſich in einer Vorlage zu einer orangefarbigen, tropfbaren Flüſſigkeit verdichten laſſen, welche beſtändig Dämpfe, wie die, woraus ſie entſtanden iſt, ausſendet und rauchende Salpeterſäure heißt. Sie iſt eine Verbindung von Salpeter-

ſäure und ſalpetriger Säure, aus der man erſtere erhält, wenn man letztere durch Hitze oder durch Zugießen von Waſſer vertreibt. Im erſteren Falle erhält man ſie concentrirt, im letzteren verdünnt, wo ſie dann, wenn ſie bereits perlblau oder waſſerhell geworden iſt, doppeltes oder einfaches Scheidewaſſer heißt. Die reine Salpeterſäure hat einen ſehr ſauren Geſchmack, färbt die thieriſche Haut und andere organiſche Körper dauerhaft gelb, zerſtört die Pflanzenfarben mit der Zeit, verbindet ſich unter Wärmeentwicklung mit Waſſer, zieht dasſelbe ſogar aus der Atmoſphäre an; ſie nimmt keinen Sauerſtoff mehr auf, tritt aber gerne einen Theil desſelben an leicht oxydirbare Körper ab, und verwandelt ſich dann in eine der niedrigeren Oxydationsſtufen des Stickſtoffes, ja ſie kann ſogar den Sauerſtoff ganz fahren laſſen. Uebergießt man daher Kupferfeile mit Scheidewaſſer, ſo erhält man, während ſich das Metall auf Koſten eines Theiles der Säure oxydirt, um ſich in dem übrigen Theile derſelben aufzulöſen, das Stickoxyd als eine farbloſe Gasart, welche vom Waſſer nur in geringer Menge aufgenommen wird, aber in Berührung mit atm. Luft oder mit Sauerſtoffgas ſich ſogleich wieder oxydirt und rothe Dämpfe liefert, ein Gemenge von ſalpetriger und Salpeterſäure, die vom Waſſer verſchluckt werden. Wird Zink in ſehr verdünnter Salpeterſäure aufgelöſt, oder dem Stickoxyd durch feuchte Eiſenfeile Sauerſtoff entzogen, ſo erhält man Stickoxydul, ein farbloſes Gas, welches vom Waſſer abſorbirt wird, und eingeathmet einen eigenthümlichen, dem Rauſche ähnlichen Zuſtand hervorruft. Man kann es auch durch Zerlegung des ſalpeterſauren Ammoniaks $N_2H_6 + N_2O_5$ bereiten, das erhitzt in Stickoxydul und Waſſer zerfällt. Das Stickoxyd und Stickoxydul wurden von Prieſtley 1772 — 1776 entdeckt.

Das Ammoniak erſcheint in reinem Zuſtande bei gewöhnlichem Luftdrucke nur als farbloſes Gas von ſtarkem eigenthümlichen Geruche, iſt an der Luft ſchwer entzündlich, verpufft jedoch mit Sauerſtoffgas gemengt durch den elektriſchen Funken; auf den ſiebenten Theil ſeines Rauminhaltes zuſammengedrückt, oder ſtark erkältet, wird es tropfbar flüſſig. Es iſt eine entſchieden alkaliſche Baſis (80). Das Gas wird vom Waſſer begierig verſchluckt, und ſtellt ſodann das wäſſerige Ammoniak dar, das man ſeit 1756 kennt. Man erhält das Ammoniakgas durch Erhitzen eines Gemenges von Salmiak (Chlorammonium) $N_2H_8Cl_2$ mit gebranntem Kalke CaO, wobei ſich Chlorcalciumhydrat $CaCl_2 + H_2O$ bildet nnd Ammoniak N_2H_6 frei wird. Die für ſich in iſolirtem Zuſtande nicht darſtellbaren oder hypothetiſchen Verbindungen N_2H_8 und N_2H_4 nennt man Ammonium und Amid. Erſterem ſchreibt man eine metalliſche Natur zu; letzteres geht mit einfachen Stoffen und mit organiſchen Radicalen verſchiedene Verbindungen ein, und kann ſelbſt als Radical einer Reihe zuſammengeſetzter Stoffe (der Ammoniakverbindungen) betrachtet werden, worin Ammoniak und Ammonium als erſte Glieder erſcheinen.

86. Mengt man 21 Volume Sauerſtoffgas mit 79 Vol. Stickgas, ſo erhält man Luft, wie ſie in der Atmoſphäre in dem reinſten Zuſtande vorhanden iſt. Daß die atmoſphäriſche Luft wirklich aus Sauerſtoffgas und Stickgas beſtehe, kann man auch auf analytiſchem Wege beweiſen. Folgendes iſt der älteſte zu dieſem Behufe angeſtellte Verſuch: Gibt man eine genau abgewogene Quantität Queckſilber in eine Retorte, die mit einem atm. Luft enthaltenden, durch Waſſer geſperrten Recipienten in Verbindung ſteht, erhitzt das Queckſilber und erhält es einige Zeit bei einer ſeiner Siedhitze nahe kom-

menden Temperatur, ſo bemerkt man, daß ſich die Luft im Recipienten vermindert, und daß zugleich das Queckſilber in rothes Queckſilberoxyd übergeht. Dieſes wiegt mehr als das Queckſilber, woraus es entſtanden iſt, und zwar genau um ſo viel, als das Gewicht der verſchwundenen Luft beträgt. Hat man nicht zu wenig Queckſilber angewendet, ſo charakteriſirt ſich die übrig gebliebene Luft als Stickgas. Das aus dem rothen Queckſilberoxyde durch Glühen erhaltene Sauerſtoffgas gibt mit dem Stickgaſe gemengt atm. Luft wieder, gerade ſo, wie man ſie urſprünglich zum Verſuche gebraucht hat. Das Verhältniß, in welchem Sauerſtoff und Stickſtoff in der atm. Luft vorkommen, im Vergleiche mit jenen, in welchen dieſe Stoffe chemiſche Verbindungen eingehen (85), zeigt deutlich, daß die atmoſphäriſche Luft kein chemiſches Product ſey, was durch die ſpäter zu erklärenden Geſetze des Gleichgewichtes gemengter Gaſe noch mehr ins Licht geſetzt wird.

Sperrt man ein Thier oder eine brennende Kerze in eine mit Luft gefüllte Glocke, ſo ſtirbt das Thier und es verliſcht die Kerze nach einiger Zeit, und zwar nachdem die Luft zuvor eine Verminderung erlitten hat, aber doch nicht ganz verzehrt iſt. Unterſucht man den Reſt derſelben, nachdem man ihn vorläufig zur Entfernung der etwa durch das Athmen oder Verbrennen entſtandenen fremdartigen Beimiſchung durch eine Auflöſung von Aetzkali geleitet hat, ſo findet man ihn aus lauter Stickgas beſtehend. Schon dieſer einfache Verſuch gibt zu erkennen, daß die atm. Luft Stickgas und einen zum Athmen und zur Unterhaltung des Brennens tauglichen Antheil enthalte. Die Zuſammenſetzung der Luft wurde 1775 durch Lavoiſier bewieſen.

87. Das in der atm. Luft vorhandene Verhältniß zwiſchen Sauerſtoffgas und Stickgas wird durch beſondere ſogenannte eudiometriſche Verſuche ausgemittelt, deren Weſentliches darin beſteht, daß man ein gemeſſenes Volum atm. Luft durch eine ſchickliche Subſtanz, z. B. durch Stickſtoffoxyd, Schwefelleber, Waſſerſtoff, Phosphor ꝛc. des Sauerſtoffes beraubt, und dann entweder das Volum des zurückgebliebenen Stickgaſes mißt, es von jenem der unterſuchten Luft abzieht und ſo den Sauerſtoffgehalt indirect ſucht, oder beſſer, indem man dieſen Gehalt aus der Gewichtsvermehrung des Körpers, der den Sauerſtoff aufgenommen hat, direct ableitet. Zur indirecten eudiometriſchen Unterſuchung braucht man am beſten Waſſerſtoffgas, und wendet am zweckmäßigſten Ure's oder Döbereiner's Eudiometer an; zur directen Unterſuchung empfiehlt Brunner Phosphor, und bedient ſich dazu eines beſondern, wie es ſcheint, ſehr zweckmäßigen Apparates.

Ure's Eudiometer beſteht aus einer 3—4 Linien weiten Glasröhre, die in zwei einander parallele 8--9 Zoll lange Schenkel gebogen, an einem Ende zugeſchmolzen und am geſchloſſenen Schenkel in gleiche Volumtheile getheilt iſt. Nahe am Ende dieſes Schenkels ſind zwei einander gegenüberſtehende Platindrähte eingeſchmolzen, deren Enden im Innern der Röhre etwa ½ Linie von einander abſtehen. Dieſe Röhre wird zum Behufe eines eudiometriſchen Verſuches mit Waſſer, beſſer mit Queckſilber gefüllt, und dann in den geſchloſſenen Schenkel zwei Raumtheile atmoſphäriſche Luft und ein Raumtheil Waſſerſtoffgas eingelaſſen. Hierauf macht man den Stand der Sperrflüſſigkeit bei aufrechter

Stellung der Röhre in beiden Schenkeln gleich, ſchließt den offenen, nicht ganz mit Flüſſigkeit gefüllten Schenkel feſt mit dem Finger, und läßt mittelſt der Platindrähte einen elektriſchen Funken durch das eingefüllte Gas ſchlagen. Die unter dem Finger befindliche Luft dient ihrer Zuſammendrückbarkeit wegen dazu, den Impuls des in dem andern Schenkel explodirenden Gasgemenges auf das Waſſer oder Queckſilber zu mäßigen, und leiſtet dabei ſo viel Widerſtand, daß von dem abgeſchloſſenen Gasrückſtande nichts entweichen kann. Sobald das Luftvolum ſich verringert hat, ſchüttet man durch den offenen Schenkel Flüſſigkeit zu, um den Stand derſelben wieder in beiden Schenkeln gleich zu erhalten, und mißt dann das Luftvolum, um auf die erlittene Verminderung ſchließen zu können. Ein Drittel derſelben gibt den Gehalt an Sauerſtoffgas an. Volta's Eudiometer iſt ſelbſt mit der von Pepys und Gay-Luſſac angebrachten Verbeſſerung noch complicirter als dieſer Apparat (Ure's Handwörterbuch der praktiſchen Chemie. Weimar 1825. S. 482). Döbereiner füllt die atm. Luft und das Waſſerſtoffgas in eine einerſeits geſchloſſene graduirte Glasröhre ein, und bewirkt die Verbrennung durch ein auf ſehr ſinnreiche Weiſe eingeführtes Kügelchen Platinſchwamm (Deſſen Beiträge zur phyſ. Chemie. Hft. 2, S. 52). Brunner's eudiometriſcher Apparat beſteht aus einer Glasröhre a b (Fig. 5), welche an beiden Enden in ein enges Röhrchen ausgezogen iſt, in einer Länge von etwa 7 Zoll trockene Baumwolle, und weiter gegen a aber 12 — 13 Gran trockenen und an die Röhrenwand angeſchmolzenen Phosphor enthält, ferner aus einem Gefäße A, das durch eine Kautſchukröhre mit b verbunden iſt, unten einen Sperrhahn hat, beim Verſuche mit Queckſilber oder Olivenöhl gefüllt wird, und die Beſtimmung hat, in dem Maße, als man dieſe Flüſſigkeit durch den Hahn abfließen läßt, durch die Röhre a b Luft einzuſaugen; endlich aus dem Gefäße B, womit man das Volum der ausgefloſſenen Flüſſigkeit, und hiedurch zugleich jenes der durch a b eingeſaugten Luft mißt. Durch einen vorläufigen Verſuch wird die in a b enthaltene Luft durch einen Theil des Phosphors und der von der Baumwolle eingeſaugten phosphorigen Säure alles Sauerſtoffes beraubt, hierauf die Röhre in a und b zugeſchmolzen und ſo aufbewahrt. Will man ein eudiometriſches Experiment machen, ſo wiegt man die Röhre ſammt ihrem Inhalte genau, bricht dann die Spitzen ab und legt ſie zur Seite, verbindet a b mit dem Gefäße A, das bereits mit Oehl oder Queckſilber gefüllt iſt, ſtellt das Meßgefäß B unter, erhitzt den Phosphor, öffnet dann den Hahn und läßt die Flüſſigkeit aus A nach B abfließen. Damit in a nur trockene Luft eingeſaugt werde, ſetzt man daſelbſt ein mit Chlorcalcium verſehenes offenes Rohr an, durch welches die Luft zum Phosphor gelangt. Sobald die Flaſche B mit der abfließenden Maſſe gefüllt iſt, wird der Hahn geſchloſſen, die Röhre in a und b zugeſchmolzen und ſammt den vorher abgeſchnittenen Spitzen wieder gewogen. Die Gewichtszunahme gibt das Gewicht des Sauerſtoffes an, den das durch a b geleitete, der in B geſammelten Flüſſigkeit an Volum gleiche Luftquantum enthielt. Es ſcheint, als könne man nach dieſer Methode den Sauerſtoffgehalt bis auf 0,1 pCt. genau beſtimmen, während das Waſſerſtoffgas-Eudiometer dieſes kaum bis auf 0,5 pCt. zu thun geſtattet. (Brunner in Pogg. Ann. 27. 1; 31. 1; 38. 164. Roſe's analytiſche Chemie. Berlin 1838. Bd. 2. 671.)

88. Eudiometriſche Verſuche haben gelehrt, daß in 100 Raumtheilen atm. Luft ſtets 21 Rth. Sauerſtoffgas und 79 Rth. Stickgas enthalten ſeyen, man mag die Luft zu was immer für einer Jahres- oder Tageszeit, am feſten Lande oder am Meere, nahe am Boden oder

in großen Höhen, im Freien oder an Orten, die von Menſchen längere Zeit gedrängt voll waren, genommen haben. Die fremdartigen Beimiſchungen, welche wir oft durch den Geruch erkennen, oder die auf unſere Geſundheit ſchädlich einwirken, laſſen ſich nicht nachweiſen, wiewohl an ihrem Daſeyn nicht zu zweifeln iſt.

Berthollet zerlegte die Luft von Paris und Cairo, De Marti die in Catalonien in allen Monaten des Jahres und zu verſchiedenen Stunden des Tages, Berger die zu Genf und in den Schweizergebirgen, Biot auf Formentera und Yviza, Kupffer in Kaſan, Davy die Luft in England und Guinea, Gay-Luſſac die 3383 P. Kl. über der Erde aufgefangene, Vogel die eine halbe Meile vom Lande über dem Meere geſchöpfte, Hermbſtädt die an der Oſtſee, Configliachi die über bewäſſerten Reisfeldern, Séguin die Luft in einem vollen Theater, Ed. Davy in einem Hoſpitale; allein überall fand man ſie von gleichem Gehalte an Sauerſtoff und Stickſtoff.

89. Der Kohlenſtoff C iſt ein brennbarer, geſchmack- und geruchloſer, unſchmelzbarer Stoff, der ſich weder im Waſſer, noch im Weingeiſte oder in Oehlen auflöſet, und ſelbſt den ſtärkſten Säuren widerſteht; er kommt am reinſten als Diamant vor, in der Pflanzen- und Thierkohle iſt er mit mehreren andern Körpern, beſonders in jener mit Waſſerſtoff, in dieſer mit Stickſtoff verbunden. Er iſt ein Beſtandtheil aller organiſchen Körper, iſt aber auch in vielen Mineralkörpern, wie z. B. im Graphit, in der Kohlenblende ꝛc. reichlich enthalten. Der Kohlenſtoff liefert mit dem Sauerſtoffe mehrere Verbindungen, wovon die Kohlenſäure CO_2, die Kleeſäure (Oxalſäure) C_2O_3 und das Kohlenoxyd CO für den Phyſiker die wichtigſten ſind. Mit dem Waſſerſtoff geht der Kohlenſtoff ſehr viele Verbindungen ein, und bildet unter andern das Grubengas CH_4 und das öhlbildende oder Leuchtgas CH_2. Mit dem Stickſtoff erzeugt er das Cyan CN.

Die Kohlenſäure CO_2 erſcheint in der Regel als Gas, kann aber auch tropfbar und feſt dargeſtellt werden (44). Als Gas iſt ſie ſchwerer als atmoſphäriſche Luft, zur Unterhaltung des Brennens und Athmens ganz untauglich, wird vom Waſſer leicht abſorbirt, und ertheilt demſelben einen angenehmen ſäuerlichen Geſchmack; ſie widerſteht der Fäulniß mächtig. Sie findet ſich als Gas an vielen Orten der Erde, und ſtrömt hie und da von ſelbſt aus beſonderen Oeffnungen mit oder ohne Waſſer hervor, wie z. B. beim Sprudel in Karlsbad, an einigen Orten am Rhein; ſie entwickelt ſich auch beim Athmen, beim Verbrennen der Kohle, bei der Weingährung, und wird auch künſtlich durch Schwefelſäure aus Kreide, Marmor, d. i. aus kohlenſaurem Kalke ꝛc. ausgetrieben, indem die Schwefelſäure mit dem Kalke Gips bildet. Man benützt ſie häufig zur Bereitung künſtlicher Mineralwäſſer.

Die Oxalſäure, welche im Safte des Sauerklees und in andern Pflanzen an Kali gebunden vorkommt und daraus abgeſchieden werden kann, bildet ſich auch durch Kochen von Zucker in Salpeterſäure. Erſcheint im waſſerhaltigen Zuſtande in farbloſen Kryſtallen. Von Scheele 1776 entdeckt, von Döbereiner zuerſt richtig analyſirt.

Das Kohlenoxydgas erhält man, wenn man der kryſt. Oxalſäure durch Schwefelſäure das Waſſer entzieht, und das ſich dabei entwickelnde Gas durch eine Kalilöſung leitet. Hierbei zerfällt die Oxalſäure, die ohne Waſſer nicht beſtehen kann, in Kohlenſäure und in

Kohlenoxydgas, wovon erſtere durch die Kalilöſung aufgenommen wird. Das Kohlenoxydgas brennt mit blauer Flamme. Es bildet ſich auch beim Verbrennen der Kohle unter gehemmtem Luftzutritte. Wurde 1799 von Prieſtley entdeckt.

Das Grubengas (Kohlenwaſſerſtoffgas mit dem Minimum von Kohlenſtoff) entwickelt ſich in Sümpfen daher es auch Sumpfgas heißt, in Kohlenbergwerken, kann aber künſtlich erzeugt werden, wenn man Waſſerdämpfe durch ein glühendes, mit Kohlenpulver gefülltes eiſernes Rohr leitet. Es iſt nicht reſpirabel, riecht ſehr unangenehm, läßt ſich anzünden, und brennt mit einer ſehr ſchwachen blauen Flamme, die nicht ſtark leuchtet, detonirt aber, mit Sauerſtoffgas gemiſcht und dann angezündet, ſehr heftig. Das Leuchtgas (Kohlenwaſſerſtoffgas mit dem Maximum an Kohlenſtoff) wird zum Behufe der Gasbeleuchtung durch Deſtillation organiſcher Subſtanzen, vorzüglich Oehl, Steinkohlen ꝛc. bereitet. Zu Verſuchen im Kleinen erhält man es leicht durch Erhitzen einer Miſchung von 1 Theile Alkohol mit 4 Th ſtarker Schwefelſäure. Es iſt farblos, von widrigem Geruche, brennbar, und zwar brennt es mit ſehr heller, lebhafter Flamme, verpufft, mit Sauerſtoffgas erhitzt, ſehr gewaltig, und liefert mit Chlor einen öhlartigen Körper, daher man es auch öhlbildendes Gas nennt. (Pogg. Ann. 4. 469; 5. 316 u. 324.) Wurde 1794 bekannt.

Das Cyan Cy erſcheint als farbloſes Gas, von durchdringendem Geruche, iſt giftig, wird vom Waſſer abſorbirt, und brennt mit ſchön violetter Flamme. Man erhält es, wenn man Cyanqueckſilber $Hg\,Cy_2$ in einer kleinen Retorte über einer Weingeiſtlampe erhitzt. In einer 2 — 3 Linien weiten, gebogenen, geſchloſſenen Glasröhre entwickelt, dient es als bequemes, gefahrloſes Beiſpiel der Tropfbarmachung eines Gaſes nach Faraday's Methode. Wurde von Gay-Luſſac im Jahre 1814 entdeckt. Kohlenoxyd und Cyan ſind zwei wichtige organiſche Radicale. Letzteres bildet mit dem Sauerſtoffe drei Säuren: die Cyanſäure Cy_2O, die man nur mit Waſſer verbunden kennt; die Knallſäure Cy_4O_2, die ſich iſolirt nicht darſtellen läßt, ſondern nur an Baſen gebunden vorkommt, mit denen ſie leicht und heftig explodirende Salze liefert (darunter das als Zündmittel bei Percuſſionsgewehren dienende Knallqueckſilber) die Cyanurſäure Cy_6O_3 auch nur waſſerhaltig darſtellbar. Mit dem Waſſerſtoffe erzeugt das Cyan eines der heftigſten Gifte, die Blauſäure Cy_2H_2.

90. Chlor Cl iſt in der Natur in großer Menge vorhanden, aber niemals in freiem Zuſtande. Durch Kunſt läßt es ſich im reinen Zuſtande als Gas und als tropfbare Flüſſigkeit darſtellen. Man erhält es aus Salzſäure durch Zerlegung derſelben mittelſt Braunſtein, oder durch Behandlung eines Gemenges von Kochſalz und Braunſtein mit Schwefelſäure. Das Gas hat eine weingelbe Farbe, einen unangenehmen Geruch, iſt zum Einathmen nicht nur nicht tauglich, ſondern höchſt ſchädlich, und verurſacht Huſten, Schnupfen, Bruſtbeklemmungen, ja ſogar den Tod, brennt nicht, geſtattet aber anderen Körpern, wie z. B. einem Wachslichte, im Brennen fortzufahren, ja einige Körper, wie z. B. Spießglanz, entzünden ſich darin von ſelbſt; es zerſtört alle organiſchen Körper, mit Ausnahme der Kohle, entfärbt ſie aber anfangs, ferner die Miasmen, daher es zum Bleichen und zum Räuchern bei anſteckenden Krankheiten vorzüglich dient. Durch ſtarke Compreſſion wird es tropfbar dargeſtellt, und da bildet es eine ſehr beweg-

liche, dunkel grünlichgelbliche Flüſſigkeit, welche bei — 15° R. noch nicht gefriert. Leitet man Chlorgas durch Waſſer, ſo wird es von demſelben abſorbirt, und das Waſſer bekommt dann alle Eigenſchaften des Gaſes; es iſt grünlichgelb, riecht nach dem Gaſe, läßt dieſes auch beim Erwärmen entweichen, und wird durch das Licht zerſetzt; läßt man vom Waſſer viel Chlorgas abſorbiren, ſo ſetzen ſich darin gelbliche Kryſtalle ab, die Chlor in Verbindung mit Waſſer ſind. Sie ſind ſehr flüchtig und laſſen ſich ſublimiren, werden aber auch leicht in Chlorgas und Waſſer zerſetzt. Das Chlor verbindet ſich mit dem Sauerſtoffe in mehreren Verhältniſſen, und liefert vier Säuren, nämlich die unterchlorige Säure Cl_2O, die chlorige Säure Cl_2O_4, die Chlorſäure Cl_2O_5 und die Ueberchlorſäure Cl_2O_7. Mit dem Waſſerſtoffe bildet es die Salzſäure H_2Cl_2, mit dem Stickſtoffe einen, ſeiner gefährlichen Explosionen wegen bemerkenswerthen Stoff, den Chlorſtickſtoff.

Um Chlorgas zu bereiten, übergießt man Braunſtein mit dem ſechsfachen Gewichte Salzſäure und erwärmt das Ganze gelinde. 2 Atome Salzſäure 4 HCl und 1 Atom Braunſtein MnO_2 zerlegen ſich gegenſeitig in 2 At. Waſſer $2\,H_2O$ und Manganchlorid $MnCl_4$. Letzteres zerfällt bei Erwärmung in Chlor und Manganchlorür, ſo daß eine Hälfte des Chlores der Salzſäure frei wird, die andere aber an das Mangan gebunden zurückbleibt. Mit gleichem Erfolge kann man auch Kochſalz, Braunſtein und Schwefelſäure, der man etwas Waſſer zugeſetzt hat, anwenden; die durch Einwirkung der Schwefelſäure auf das Kochſalz ſich bildende Salzſäure wird ſogleich durch Vermittlung des Braunſteines auf die ſo eben erklärte Weiſe zerlegt. Die Anwendung des Chlors als Bleich- und Luftreinigungsmittel iſt ſehr wichtig. Man braucht heut zu Tage ſelten mehr dazu das Gas oder das Chlorwaſſer, ſondern meiſtens Chlorkalk, Chlorkali oder Chlornatrum. Zum Behufe der Luftreinigung wird ein ſolcher Körper in einer flachen Schale mit Waſſer übergoſſen und in der Luft ſtehen gelaſſen; zur Reinigung von Kleidern, Betten werden dieſelben mit einer ſolchen Flüſſigkeit gewaſchen; Briefe werden durchſtochen und mit Chlorgas geräuchert. Das Chlor wurde 1774 von Scheele entdeckt. Man hielt es bis 1810 für einen zuſammengeſetzten Stoff, den man als eine höhere Oxydationsſtufe des Radicals der Salzſäure betrachtete, und daher oxygenirte Salzſäure nannte. Gay-Luſſac und Davy's Unterſuchungen begründeten die jetzt herrſchende Anſicht.

Chlorgas und Waſſerſtoffgas mit einander gemengt wirken im Dunkeln nicht auf einander; am Tageslichte erfolgt die Verbindung des Chlors mit dem Waſſerſtoffe langſam, im Sonnenlichte mit Exploſion. Das Product iſt Salzſäure (Chlorwaſſerſtoffſäure). Man erhält ſie auch, wenn man Kochſalz mit 84 pCt. Schwefelſäure vorſichtig übergießt und hierauf erwärmt. Das Kochſalz iſt Natriumchlorid $NaCl_2$; in Berührung mit Schwefelſäurehydrat (engliſcher Schwefelſäure) $SO_3 + H_2O$ entſteht ſchwefelſaures Natriumoxyd $NaO + SO_3$ und Chlorwaſſerſtoffſäure H_2Cl_2. Sie erſcheint als farbloſes Gas, iſt unathembar, weder brennend, noch das Brennen nährend, wird durch ſehr ſtarken Druck tropfbar flüſſig, mit dem Waſſer verbindet ſich das Gas in hohem Grade begierig, und ſtellt deßwegen in feuchter Luft weiße Nebel dar; vom Waſſer bis zur Sättigung verſchluckt, gibt es die wäſſerige Salzſäure, welche der Dämpfe wegen, die ſie ausſtößt, rauchende

Salzſäure genannt zu werden pflegt. Ein Gemiſche von Salzſäure und Salpeterſäure führt den Namen Königswaſſer, weil ſich Gold darin auflöſet.

91. Das Brom Br wurde im Jahre 1826 von Balard zuerſt im Waſſer aus dem mittelländiſchen Meere, nachdem das Kochſalz herauskryſtalliſirt war, gefunden, bald darauf aber auch aus dem Waſſer des todten Meeres und aus vielen Salzſoolen und Mineralquellen ausgeſchieden. Es erſcheint bei der gewöhnlichen Luftwärme als dunkelbraune, in dünnen Schichten hyacinthrothe Flüſſigkeit von äußerſt unangenehmen Geruche (daher ſein Name), verdünſtet ſtark in der Luft, ſiedet ſchon bei 47° C., und friert erſt bei — 18°, wo es dann als bleigraue, ſpröde, metallglänzende Maſſe erſcheint, iſt im Waſſer, Alkohol und Aether, wohl auch im Baumöhl löslich, ſinkt aber in der Schwefelſäure unverändert unter. Es färbt die Haut vorübergehend dunkelgelb, und bleicht Pflanzenfarben wie das Chlor.

92. Das Jod J wurde zuerſt 1812 von Courtois in der Mutterlauge des Seetanges, ſpäter aber in mehreren Seepflanzen, im Kropfſchwamme, ſelbſt in Mineralien und in Quellen (Hall in Oberöſterreich) gefunden. Es iſt eine feſte, dunkelgraue, faſt wie Metall glänzende, leicht zerreibliche Subſtanz, welche die Haut vorübergehend ſchmutzig-gelb färbt, einen unangenehmen, dem Chlor ähnlichen Geſchmack hat, ſtark auf den Organismus wirkt, ſich ſchwer im Waſſer, aber leicht im Weingeiſte auflöſet. Durch Wärme läßt es ſich in ein ſchön violettes Gas verwandeln, welchem Umſtande es ſeinen Namen verdankt. Brom und Jod verhalten ſich gegen Sauerſtoff, Waſſerſtoff und Stickſtoff ganz wie Chlor, und geben ähnliche Verbindungen.

93. Fluor F iſt ein Stoff, der, wenn es ja gelungen iſt, ihn iſolirt zu erhalten, bisher wohl nur von Davy in ſehr geringer Menge dargeſtellt worden ſeyn mag. Er ſoll als braune Subſtanz erſchienen ſeyn. Doch iſt an der Exiſtenz des Stoffes nicht zu zweifeln. Er iſt der einzige Körper, von dem man keine Sauerſtoffverbindung mit völliger Beſtimmtheit kennt. Mit dem Waſſerſtoffe gibt er die Flußſäure H_2F_2.

Die Flußſäure (Fluorwaſſerſtoffſäure) erhält man durch Behandlung des Flußſpathes (Calciumfluorides) mittelſt Schwefelſäure auf ähnliche Weiſe, wie ſich bei der Einwirkung von Schwefelſäure auf Kochſalz Chlorwaſſerſtoffſäure bildet. Sie erſcheint als Gas; dieſes iſt höchſt irreſpirabel, weder ſelbſt brennbar, noch das Brennen anderer Körper unterhaltend, greift das Glas an, daher man es zum Aetzen deſſelben brauchen kann, und erregt auf der Haut ſchmerzhafte Geſchwüre; es wird vom Waſſer abſorbirt, und ertheilt demſelben ſeine, Kieſelerde und Glas auflöſende Kraft.

94. Der Schwefel S iſt ein blaßgelber, undurchſichtiger, bei geringer Temperatur zerreiblicher, ſchwach ſchmeckender Körper, der in der Luft bei gehöriger Hitze mit einem erſtickenden Geruche und einer bläulichen Flamme verbrennt. Wird er in verſchloſſenen Gefäßen über 111° C. erhitzt, ſo wird er weich und ſchmilzt endlich zu einer gelben, durchſichtigen öhlartigen Flüſſigkeit, die bei 160° anfängt braun und

dickflüſſig zu werden, und in Waſſer gegoſſen, lange weich bleibt. Bei 316° ſiedet er und gibt einen pomeranzengelben Dampf, der ſich an kältere Körper in feſter Form (Schwefelblumen) anlegt. Der Schwefel iſt im Waſſer gar nicht, im Weingeiſt nur wenig auflöslich; mittelſt Wärme bildet er mit Oehlen die ſogenannten Schwefelbalſame. Er kommt in der Natur gediegen, ſelbſt kryſtalliſirt, häufiger in Verbindung mit Metallen vor, endlich auch in vielen organiſchen Körpern, z. B. in den Eiern, im Harn, in der Galle. Der Schwefel liefert mit Sauerſtoff vier Verbindungen die ſämmtlich Säuren ſind, nämlich: Schwefelſäure SO_3, Unterſchwefelſäure S_2O_5, ſchwefelige Säure SO_2 und unterſchwefelige Säure S_2O_2. Mit dem Waſſerſtoffe geht er zwei Verbindungen ein, welche hydrothionige Säure (Waſſerſtoffſchwefel) S_5H_2 und Hydrothionſäure SH_2 genannt werden. Mit dem Kohlenſtoffe gibt er ein merkwürdiges Product, den Schwefelkohlenſtoff CS_2. Auch verbindet er ſich mit Stickſtoff, Chlor, Brom, Jod.

Von der Schwefelſäure kommen im Handel zwei Sorten vor: die weiße engliſche und die braune ſächſiſche (oder das Nordhauſer Oehl). Erſtere wird durch Verbrennen des Schwefels, unter Zuſatz von Salpeter bereitet. Hier wird ein Theil der ſich bildenden ſchwefeligen Säure auf Koſten der Säure des Salpeters oxydirt, und in Schwefelſäure verwandelt, welche mit dem Kali des Salpeters ſich verbindet; die zerlegte Salpeterſäure liefert Stickſtoffoxyd, welches aus der atmoſphäriſchen Luft Sauerſtoff aufnimmt, in ſalpetrige Säure übergeht, die dann, wenn Waſſer zugegen iſt, ſich wieder auf Stickſtoffoxyd reducirt, um der ſchwefeligen Säure Sauerſtoff abzutreten, damit Schwefelſäure, die eine große Verwandtſchaft zum Waſſer hat, ſich bilde; das Stickſtoffoxyd nimmt ſodann aus der atmoſphäriſchen Luft ein neues Sauerſtoffquantum auf, welches wieder auf die ſchwefelige Säure übertragen wird u. ſ. w. Das Nordhauſer Oehl wird durch Deſtillation des calcinirten Eiſenvitriols erhalten. Die auf dem einen oder dem anderen Wege gewonnene Säure muß erſt durch Deſtillation concentrirt und gereiniget werden. Die wäſſerige reine Schwefelſäure (ein Hydrat der waſſerfreien Schwefelſäure, nämlich $SO_3 + H_2O$) iſt ein waſſerheller, geruchloſer, wie Oehl flüſſiger Körper, der alle Eigenſchaften einer ſtarken Säure hat, mit Waſſer ſich heftig erhitzt, ſelbes ſchon aus der Atmoſphäre ſtark anzieht, und es überhaupt überall aus ſeinen Beſtandtheilen zu bilden ſucht. Daher kommt auch die zerſtörende und verkohlende Kraft, mit welcher ſie auf alle organiſchen Körper wirkt, und ſelbſt das Schwarzwerden dieſer Säure in Berührung mit organiſchen Stoffen oder mit der Luft, die organiſche Ausdünſtungen enthält. Erhitzt man braune Schwefelſäure, die eine Verbindung des vorerwähnten Hydrates der Schwefelſäure, mit einem andern, weniger Waſſer enthaltenden iſt, in einer Retorte mit vorgelegtem gekühlten Ballon, ſo ſammeln ſich in letzterem asbeſtartige Kryſtalle, die waſſerfreie Schwefelſäure SO_3 darſtellen.

Schwefelige Säure SO_2 iſt das erſtickende Gas, das ſich beim Verbrennen des Schwefels erzeugt, und das man auch erhält, wenn man Queckſilber mit Schwefelſäure übergießt und hierauf erhitzt. Es iſt farblos, hat einen erſtickenden Geruch, iſt weder ſelbſt brennbar, noch unterhält es das Brennen anderer Körper, bleicht thieriſche Subſtanzen, wird vom Waſſer abſorbirt, und ſo in tropfbare Säure ver-

wandelt, kann aber durch ſtarke Erkältung oder durch einen nur etwas ſtarken Druck tropfbar werden, und ſtellt dann eine waſſerklare Flüſſigkeit dar, welche ſchon bei — 10° C. ſiedet. Von Prieſtley 1777 zuerſt als Gas rein dargeſtellt.

Die Hydrothionſäure (Schwefelwaſſerſtoffſäure) entſteht, wenn man irgend ein Schwefelmetall, z. B. Schwefeleiſen, mit verdünnter Schwefelſäure übergießt und das Ganze erwärmt. Um das Schwefeleiſen zu erhalten, nimmt man ein mit Waſſer angerührtes Gemenge von 2 Theilen Schwefel und 1 Theil Eiſen; dadurch entſteht Schwefeleiſenhydrat. Wird dieſes mit Schwefelſäure behandelt, ſo oxydirt der Sauerſtoff des Waſſers das Metall, das Oxyd wird von der Schwefelſäure aufgenommen, der Waſſerſtoff des Waſſers aber verbindet ſich mit dem Schwefel zu Hydrothionſäure. Sie bildet ein farbloſes, nach faulen Eiern riechendes, brennbares, für die Reſpiration höchſt nachtheiliges Gas, das ſich durch ſtarken Druck auch tropfbar machen läßt. Das Gas wird vom Waſſer aufgenommen, findet ſich in Schwefelwäſſern natürlich damit verbunden, die man ihrer Heilkräfte wegen auch künſtlich darſtellt. Die wäſſerige Säure hat den Geruch des Gaſes und wird an der Luft zerſetzt. Von Scheele 1772 zuerſt unterſucht.

Der Schwefelkohlenſtoff, auch Schwefelalkohol genannt, entſteht wenn Schwefeldämpfe bei hoher Temperatur durch eine mit Kohlen gefüllte Röhre von Gußeiſen oder Thon geleitet werden. Er iſt eine tropfbare Flüſſigkeit, erſcheint durch Deſtillation rectificirt waſſerhell und dünnflüſſig, iſt ſehr flüchtig, riecht ſtark, iſt leicht entzündlich, im Waſſer, worin er zu Boden ſinkt, unlöslich, löſet Schwefel und Phosphor leicht auf. Von Lampadius 1796 entdeckt.

95. Selen Se iſt ein ſpröder, in Maſſe bleigrauer, metalliſch glänzender, gepulvert aber dunkelrother, durchſcheinender, im Waſſer unlöslicher Körper, der bei 100° weich, in höherer Temperatur gar flüſſig wird, und ſich beim Erkalten in Fäden ziehen läßt. Es ſiedet vor dem Glühen, und gibt dabei einen gelben Dampf, läßt ſich entzünden und verbrennt mit Rettiggeruch und röthlichblauer Flamme. Man erhält das Selen aus dem röthlichen Schlamme, der ſich beim Verbrennen des Schwefels abſetzt, und auch aus einem beſondern Mineral, dem Selenblei. Berzelius hat es im Jahre 1817 entdeckt.

96. Der Phosphor P iſt ein wachsgelber, bei niederer Temperatur ſpröder, bei etwas hoher biegſamer, fettig glänzender Körper. Er leuchtet im Dunkeln, ſchmilzt und entzündet ſich ſehr leicht, darum er beſtändig unter Waſſer aufbewahrt werden muß; er löſet ſich im Weingeiſte ſchwer, in ätheriſchen Oehlen leicht auf, und gibt dann eine nicht ſo leicht brennbare, aber doch leuchtende Maſſe, die man zu Zündhölzchen oder zu leuchtender Pomade verwenden kann. Er findet ſich in allen drei Naturreichen, beſonders aber in thieriſchen Knochen, aus denen er auch meiſtens gewonnen wird. Der Phosphor bildet mit Sauerſtoff drei Säuren, darunter die Phosphorſäure P_2O_5, und geht auch mit Waſſerſtoff, Stickſtoff, Chlor, Brom, Jod, Schwefel und Selen Verbindungen ein. Er wurde 1669 von Brandt in Hamburg entdeckt.

Die Phosphorſäure bildet einen feſten, äußerſt feuerbeſtändigen, ſchwach ſauer ſchmeckenden, im Waſſer löslichen Körper. Sie wird

aus thieriſchen Knochen, deren Hauptmaſſe phosphorſaurer Kalk iſt, durch Zerlegung des letzteren mittelſt Schwefelſäure bereitet. Die Verbindung des Phosphors mit dem Waſſerſtoffe erſcheint als ein farbloſes, unangenehm riechendes Gas, das ſich an der Luft von ſelbſt entzündet, aber dieſe Eigenſchaft ohne Veränderung ſeiner Zuſammenſetzung durch längere Aufbewahrung verliert und ſie auch wieder bekommen kann. Man erhält es ſelbſtentzündlich, obgleich minder rein, wenn man Phosphor in Aetzlauge vorſichtig kocht, oder auch wenn man Phosphorſtückchen mit Aetzkalk mengt, Waſſer zuſetzt und das Ganze erwärmt. Am reinſten bildet es ſich durch Erhitzen waſſerhältiger phosphoriger Säure. Wurde von Davy 1812 entdeckt.

97. Bor B, von Gay-Luſſac und Thenard 1810 zuerſt dargeſtellt, wird durch Zerſetzung der Borſäure mittelſt Kalium erhalten, und erſcheint als undurchſichtiges, dunkelgrünes, ſtark abfärbendes, geruch- und geſchmackloſes Pulver, das ſich, friſch bereitet und bevor es geglüht wird, im Waſſer auflöſet und in der Luft bei der gewöhnlichen Temperatur unverändert bleibt, bei erhöhter Temperatur hingegen mit Funkenſprühen verbrennt. Bor und Sauerſtoff geben die Borſäure BO_3; auch mit den andern Stoffen verbindet es ſich.

98. Kieſel (Silicium) Si, im J. 1824 von Berzelius zuerſt rein dargeſtellt, wird aus kieſelflußſaurem Natrum mittelſt Kalium erhalten. Es iſt ein feſter, glanzloſer, dunkelbrauner, ſtark ſchmutzender, unſchmelzbarer Körper, der viel Aehnlichkeit mit Bor hat, und ſich zu ihm wie Selen zu Schwefel, oder wie Chlor zu Jod verhält. Kieſel bleibt im Sauerſtoffgas unverändert, nur wenn es kürzlich bereitet und noch nicht in der Luft erhitzt worden iſt, kann es darin durch gelindes Erhitzen zum Verbrennen gebracht werden, wo es die Kieſelſäure gibt; es brennt auch in Chlorgas und bei hoher Temperatur in Schwefeldunſt; mit Salpeter kann man es glühen, ohne es dadurch zu verändern, aber mit kohlenſaurem Kali vermengt, und dann bis zum Glühen erhitzt, detonirt es. Es geht mit vielen Körpern Verbindungen ein, und liefert Producte, worunter das merkwürdigſte die Kieſelſäure SiO_3 iſt, die man einſt unter die Erden zählte, und Kieſelerde nannte.

99. Die noch erübrigenden Grundſtoffe ſind insgeſammt Metalle. Es hat zwar jedes Metall ſeinen eigenthümlichen Charakter, aber alle zuſammen haben auch ſo viel Gemeinſchaftliches, die metalliſche Natur überhaupt charakteriſirendes, daß es für unſern Zweck genügt, nur dieſe allgemeine Charakteriſtik hier kurz zu entwerfen. Die Metalle unterſcheiden ſich von anderen Grundſtoffen durch ihren eigenthümlichen Glanz, ihre Undurchſichtigkeit und Unauflöslichkeit im Waſſer. Sie heißen im reinen Zuſtande Metallkönige oder reguliniſche Metalle. Wenige derſelben kommen in der Natur in dieſem Zuſtande vor, die meiſten finden ſich vererzt (mit Schwefel verbunden), verlarvt (in Verbindung mit anderen Metallen), oder oxydirt. Mehrere Metalle ſind hämmerbar und ſtreckbar, ſie laſſen ſich zu Platten walzen, zu Draht ziehen ꝛc., wie z. B. Gold, Silber, Platin, Ku-

pfer; andere ſind ſpröde, wie Spießglanz, Wismuth; deßhalb theilte man ſie einſt in ganze (ſtreckbare) und in Halbmetalle ein, ungeachtet ſich zwiſchen beiden keine feſte Grenze angeben läßt, und dasſelbe Metall durch bloß mechaniſche Behandlung dehnbar oder ſpröde werden kann, mithin bald in die eine, bald in die andere Claſſe gehören müßte. Alle Metalle ſind ſchmelzbar, jedoch fordert jedes Metall einen eigenen Hitzegrad zum Schmelzen. So iſt das Queckſilber ſchon bei der gewöhnlichen Luftwärme flüſſig, Kalium und Natrium ſind bei derſelben Temperatur weich. Zinn, Blei, Wismuth ſchmelzen im leichten Ofenfeuer, während kaum das ſtärkſte Feuer Eiſen, Uran, Titan, Platin zu ſchmelzen vermag. Kalium, Natrium, Eiſen und Platin werden vor dem Zerfließen weich, können daher geſchweißt werden, andere Metalle bleiben aber hart bis zum Augenblicke des Schmelzens, ja einige werden vorher noch härter. Alle Metalle können in Dämpfe verwandelt werden. Queckſilber, Zink, Arſenik verflüchtigen ſich leicht; Gold, Platin erſt bei der größten Hitze. Beim Erkalten kryſtalliſiren alle Metalle unter günſtigen Umſtänden. Bei den ſpröden läßt ſich das Kryſtallgefüge am leichteſten erkennen. Die meiſten Metalle laſſen ſich mit einander verbinden und geben Gemiſche, die man Legirungen, oder wenn Queckſilber einen Beſtandtheil ausmacht, Amalgame nennt. Dieſe Gemiſche ſind meiſtens härter, elaſtiſcher und minder dehnbar, als die Beſtandmetalle, wie man es am Meſſing (Kupfer und Zink), Kanonengut, Glockengut (Kupfer und Zinn), Packfong (Kupfer, Zink und Nickel) ꝛc. ſieht; ſie ſind leichter ſchmelzbar (leichtflüſſige Miſchungen aus Wismuth, Blei und Zinn), bilden daher für die einfachen Metalle die Lothe, und kryſtalliſiren leichter als die einfachen Metalle. Einige Metalle hängen ſchon zuſammen, wenn nur eines davon flüſſig iſt. Darauf beruht das Löthen, Vergolden, Verſilbern ꝛc.

100. Alle Metalle verbinden ſich mit Sauerſtoff, Chlor, Schwefel; wenige mit Waſſerſtoff, Stickſtoff, Kohlenſtoff, Bor, Silicium. Die Verbindungen mit Phosphor, Brom, Jod und Fluor ſind noch wenig unterſucht. Durch Sauerſtoff verlieren die Metalle ihren Glanz, ihre Conſiſtenz und werden nicht ſelten im Waſſer auflöslich. Einige oxydiren ſich ſchon bei der gewöhnlichen Luftwärme und entreißen den Sauerſtoff ſogar dem Waſſer, wie z. B. Kalium, welches auf Waſſer gebracht unter ſolcher Temperaturerhöhung ſich in Kali umwandelt, daß das frei werdende Waſſerſtoffgas mit Flamme verbrennt; andere aber müſſen erhitzt werden, um den Sauerſtoff aufzunehmen, wie z. B. Queckſilber; andere nehmen den Sauerſtoff aber ſelbſt in der größten Hitze nicht auf, und können daher nur durch Sauerſtoffſäuren oxydirt werden, wie Gold, Platin. Hierauf beruht die alte Eintheilung der Metalle in edle und unedle. Einige Metalle oxydiren ſich durch und durch, wie Eiſen; andere überziehen ſich nur an der Oberfläche mit Oxyd, werden aber im Innern durch die äußere Rinde vor der ferneren Oxydation geſchützt, wie Kupfer, Bronze. Alle Metalloxyde ſind feſte Körper. Von einigen Metallen gibt es nur ein Oxyd, von

den meiſten zwei, von einigen ſogar vier und fünf. Ihrem chemiſchen Verhalten nach ſind die meiſten Oxyde entſchiedene Baſen, doch haben andere wieder den ſauren Charakter, und während viele Metalle bloß baſiſche Oxyde liefern, geben mehrere theils baſiſche Oxyde, theils Säuren und einige wenige vorzugsweiſe Säuren.

Die Oxyde von Kalium, Natrium und Lithium, nämlich das ſogenannte Kali, Natrum und Lithion, heißen insbeſondere *Alkalien*; ſie ſind im Waſſer leicht löslich, und bemächtigen ſich deſſen, wenn ſie im Contact mit demſelben bereitet werden, ſo, daß man ſie in der Regel nur im Hydratzuſtande erhält; ſie haben einen eigenen brennenden Geſchmack, greifen organiſche Subſtanzen an und zerſtören ſie mit der Zeit, darum man ſie *ätzend* nennt; ſie ſind ſchmelzbar und laſſen ſich ſogar verflüchtigen, ihre Dämpfe haben einen eigenthümlichen Geruch, von dem man an den feſten Maſſen oder an den Löſungen nichts bemerkt. Sie liefern mit Oehlen und Fettarten im Waſſer lösliche Seifen. Mit dieſen Oxyden hat das Ammoniak in Betreff der Salze, die es mit Säuren erzeugt, die auffallendſte Aehnlichkeit; man nennt es daher flüchtiges Alkali, und kann es als das Ergebniß der Oxydation des Ammoniums betrachten (85), von welchem nicht iſolirt darſtellbaren Stoffe man ein Amalgam kennt, womit ſich ſeine metalliſche Natur zu verrathen ſcheint. An der Luft nehmen die Alkalien Kohlenſäure auf und werden dadurch *milde*. Die Oxyde von Barium, Strontium, Calcium, Magneſium, nennt man ihres erdartigen Ausſehens wegen *alkaliſche Erden*, nämlich Baryt-, Strontian-, Kalk- und Bittererde; ſie ſtehen den Alkalien ſehr nahe, beſitzen Aetzkraft und ſind nicht minder entſchiedene Salzbaſen als dieſe, nur iſt ihre Löslichkeit im Waſſer geringer, ſie geben mit Oehlen im Waſſer unlösliche Seifen und ſind einzeln für ſich nicht ſchmelzbar. Die Oxyde von Aluminium, Glycium (Beryllium), Zirconium, Yttrium, Thorium, nämlich die Thon- oder Alaun-, die Glycin- (Beryll-), Zircon-, Ytter- und Thorerde bilden die Gruppe der *eigentlichen Erden*, es fehlt ihnen die Aetzkraft, die Löslichkeit im Waſſer, welches davon höchſtens nur ſehr geringe Quantitäten aufnimmt, und daher haben ſie auch keinen Geſchmack und zeigen keine Wirkung auf die Pflanzenſäfte. Manche der übrigen Metalloxyde geben in Bezug auf baſiſche Natur und damit zuſammenhängende Reaction auf die Pflanzenſäfte den alkaliſchen Erden nichts nach, wie z. B. Zinkoxyd, Bleioxyd. In Hinſicht auf die Beſchaffenheit und Menge der Oxyde ſind merkwürdig: das Arſen, es liefert bloß Säuren und zwar die arſenige Säure (weißer Arſenik, als Rattengift bekannt) und die Arſenſäure (As_2O_3 und As_2O_5, obwohl Andere auch noch ein Arſenſuboxyd annehmen); das Mangan, von ihm hat man das Manganoxydul (MnO), Manganoxyd (Mn_2O_3), Manganhyperoxyd (MnO_2), die Manganſäure (MnO_3) und die Uebermanganſäure (Mn_2O_7); das Blei, es gibt ein Bleioxyd (PbO), ein Bleihyperoxydul (Pb_2O_3) und ein Bleihyperoxyd (PbO_2) (das rothe Bleioxyd oder Mennig iſt eine Verbindung des erſten mit dem letzten); das Eiſen, von ihm kennt man ein Oxydul (FeO), ein Oxyd (Fe_2O_3) und ein Oxyduloxyd ($FeO + Fe_2O_3$) u. ſ. w. Nicht minder intereſſant als die Oxyde der Metalle ſind die Chlor- und die Schwefelmetalle, deren weitere Erörterung jedoch die Grenzen dieſes Lehrvortrages überſchreitet.

Einige Metalle kennt man ſeit den älteſten Zeiten, wie Gold, Silber, Queckſilber, Kupfer, Eiſen, Zinn, Blei, oder hat ſie doch ſchon vor mehreren hundert Jahren hinreichend von andern unterſchieden, wie das Wismuth, Zink, Antimon. Von manchen kannte man die

Oxyde ſeit Langem, und es gelang erſt in neuerer Zeit die Metalle ſelbſt daraus zu reduciren; nicht wenige aber gehören ganz der neueſten Zeit an. Den Kobalt reducirte Brandt 1733, den Nickel Cronſtedt 1751, das Mangan Gahn 1774, das Tellur Müller von Reichenſtein 1782, das Molybdän Hielm 1782 (aus der 1778 von Scheele entdeckten Molybdänſäure), das Wolfram d'Elhuyart 1785 (aus dem 1781 von Scheele entdeckten Oxyde), das Uran Klaproth 1789, das Titan Gregor 1791, das Chrom Vauquelin 1797, das Tantal Hatchett 1801. Die Begleiter des Platins, das 1741 nach Europa kam, nämlich das Palladium, Rhodium, Iridium, Osmium wurden, die beiden erſten von Wollaſton 1803 und 1804, die beiden andern von Tennant 1803 entdeckt. Die glänzende Entdeckung der Metalle der Alkalien und alkaliſchen Erden durch Davy 1807 bildet einen beſonderen Abſchnitt in der Geſchichte der Chemie. Funde neuerer Zeit ſind das Lithium durch Arfvedſon 1817, das Cadmium durch Hermann und Stromeyer 1817, das Yttrium durch Wöhler 1828, das Thorium durch Berzelius 1828, das Vanadin durch Seffſtröm 1830, das Lanthan durch Moſander 1839, welcher bereits 1825 das bis jetzt für einfach gehaltene Cer aus dem 1807 von Klaproth und Berzelius entdeckten Oxyde darſtellte.

101. Unter den zuſammengeſetzten Stoffen gewähren die organiſchen ihrer Mannigfaltigkeit und Eigenthümlichkeiten wegen ein beſonderes Intereſſe. Sie beſtehen im Allgemeinen aus Kohlenſtoff, Waſſerſtoff, Sauerſtoff und Stickſtoff. Viele derlei Körper enthalten nur die drei zuerſt genannten Elemente, andere aber alle vier, nur wenige beſtehen bloß aus Kohlenſtoff und Waſſerſtoff; es gibt jedoch keinen, dem der Kohlenſtoff fehlte, ja dieſer iſt in den organiſchen Stoffen faſt durchgehends ſogar in mehr als einem Atom enthalten. Sämmtliche Elemente kommen oft in großer Anzahl vor, worin der Grund der außerordentlichen Vielfältigkeit ihrer Producte liegt.

Darum waren der organiſchen Chemie lange zwei große Schwierigkeiten im Wege; erſtens die Zuſtandebringung richtiger Elementar-Analyſen der organiſchen Gebilde, denn ein geringer Fehler hierin ändert die Zuſammenſetzungsformel eines Stoffes; zweitens die Umſtaltung der durch Analyſe erhaltenen, alſo rein empiriſchen Formeln in rationelle, welche über die Beziehung der Stoffe zu einander Licht geben. Beide Schwierigkeiten wurden erſt in neueſter Zeit, vornehmlich durch Liebig, den Gründer des gegenwärtigen blühenden Zuſtandes der organiſchen Chemie, gehoben.

102. Durch ſorgfältige Betrachtung der Reſultate, welche ſich ergeben, wenn man die organiſchen Stoffe einer Reihe von Veränderungen planmäßig unterwirft, iſt man zur Ueberzeugung gekommen, daß dieſe Stoffe als Verbindungen gewiſſer zuſammengeſetzter Radicale mit verſchiedenen einfachen und zuſammengeſetzten Stoffen betrachtet werden können, ſo daß ſich Gruppen bilden laſſen, deren jede ſich auf ein eigenes Radical als Anfangspunct und gemeinſchaftlichen Beſtandtheil aller Glieder gründet, und welche wegen des übereinſtimmenden Wechſels des zweiten Beſtandtheiles einander gleichſam parallel laufen.

Dieſe Radicale, welche ganz die Rolle einfacher Stoffe ſpielen, laſſen ſich nur in wenigen Fällen iſolirt darſtellen; ſie müſſen demnach als bloß hypothetiſche Stoffe angeſehen werden, haben aber darum nicht weniger Gewißheit, als Fluor und waſſerfreie Salpeterſäure, an deren Daſeyn nicht gezweifelt wird, ungeachtet ihre iſolirte Darſtellung problematiſch oder gar unmöglich iſt. Zwei darſtellbare dieſer Radicale, *Kohlenoxyd* (CO) und *Cyan* (CN oder vielmehr C_2N_2), wurden bereits oben angeführt; ein anderes darſtellbares Radical iſt das von *Liebig* entdeckte *Mellon* (C_6N_8); bloß hypothetiſche Radicale ſind *Benzoyl* ($C_{14}H_{10}O_2$), *Aethyl* (C_4H_{10}), *Acetyl* (C_4H_6) u. m. a.

103. Die meiſten organiſchen Verbindungen ſind ſauerſtoffhältig und beſitzen den Charakter der Oxyde. Dieſe Analogie mit den Oxyden geht ſo weit, daß einige derſelben als entſchieden *ſauer*, andere als *baſiſch* auftreten. Eine große Zahl organiſcher Stoffe iſt aber in ſo geringem Grade Säure oder Baſis, daß ſie Säuren gegenüber die Rolle einer Baſis, Baſen gegenüber die Rolle einer Säure ſpielen und man dieſelben lieber für *indifferent* halten möchte.

Viele organiſche *Säuren* wetteifern in Bezug auf Verwandtſchaft zu Baſen mit ſtarken anorganiſchen Säuren und die meiſten ſind kryſtalliſirbar. Keine natürlich vorkommende Pflanzenſäure enthält Stickſtoff und jede derſelben mehr Sauerſtoff als nöthig iſt, um mit ihrem Waſſerſtoff Waſſer zu bilden. Viele Säuren kommen ſehr allgemein vor, wie z. B. Weinſäure, Eſſigſäure, Citronſäure, Aepfelſäure, Gerbſäure, und zwar theils frei, wie die Citronſäure, theils an Baſen gebunden, wie Weinſteinſäure an Kali im Weinſtein; andere aber ſind nur gewiſſen Körpern eigen, wie z. B. die Margarin-, Stearin- und Oleinſäure den Fettarten, die Butterſäure und Capronſäure der Butter, die Hircinſäure dem Bockstalg, die Oenantſäure dem Weine u. dgl. Die meiſten organiſchen *Baſen* ſind feſte meiſt kryſtalliſirbare Körper, enthalten ſämmtlich Stickſtoff, finden ſich ausſchließend und zwar an Säuren gebunden im Pflanzenreiche, und machen in ſolchen Vegetabilien, die ſich durch ihre Giftigkeit oder ihre Heilkräfte auszeichnen, den wirkſamen Beſtandtheil aus. So ertheilt das Morphin dem Opium, das Chinin der Chinarinde, das Strychnin den Krähaugen, das Emetin der Ipecacuanha, das Atropin dem Tollkraut, das Coniin dem Schierling ihre Wirkſamkeit. Viele dieſer Baſen beſitzen alkaliſche Eigenſchaften. Der größte Theil der organiſchen Stoffe aber ſcheint indifferenter Natur zu ſeyn, zumal da ihren Verbindungen mit Säuren oder Baſen der eigentliche Charakter eines Salzes fehlt. Doch läßt ſich mit Hülfe der Analogie in mehreren Fällen die etwas weniger deutlich ausgeſprochene Beziehung der Stoffe zu einander erkennen, und eine genügende Ueberſicht ihres Zuſammenhanges gewinnen. Einige dieſer indifferenten Stoffe machen im Allgemeinen die wahren Beſtandtheile der Pflanzenkörper aus, als: Stärke, Gummi, Pflanzenſchleim, Pflanzenleim, Pflanzeneiweiß, Zucker, Oehle, Harze; andere kommen nur in gewiſſen Arten vor, wie Alizarin in der Färberröthe (Krapp), Indig im Indigo, Piperin im Pfeffer, Amygdalin in den bitteren Mandeln und im Kirſchlorber, Glycyrrhicin im Süßholze u. ſ. w.

104. Der Charakter eines organiſchen Stoffes wird durch die eigenthümliche Art, wie ſich ſeine Elemente vereinigt haben, beſtimmt.

In jedem ſolchen Körper übt das Radical zu dem Stoffe, mit dem es verbunden iſt, in dem Maße eine Anziehung aus, als die einfachen Beſtandtheile des einen Stoffes jene des andern afficiren, welche Wirkung durch die Anziehung modificirt wird, die unter den Elementen jedes Beſtandtheiles ſelbſt Statt findet. Das Fortbeſtehen eines beſtimmten Zuſtandes der Gruppirung ſetzt einen ſtabilen Gleichgewichtszuſtand dieſer Kräfte, d. h. einen ſolchen voraus, wo bei einer nur geringen Verſchiebung der Elemente ein Beſtreben obwaltet, in ihre frühere Poſition zurückzukehren. Allein partielle Gleichgewichtszuſtände unter den einander gegenüber ſtehenden Elementen ſind mehrere möglich; ſobald nur durch irgend eine paſſende Veranlaſſung das ihrer Bewegung entgegenſtehende Hinderniß überwunden wird, ändert ſich ihre Anordnung, und der Körper erleidet eine Metamorphoſe. Solche Veranlaſſungen ſind vornehmlich: 1) Aenderung der Stellung oder der Beweglichkeit der Elemente durch Wärme; 2) Berührung mit einem Stoffe, der ſelbſt keine Verbindung mit den Elementen eingeht, ſondern nur ſie unter einander in Bewegung ſetzt. In beiden Fällen können auch die Elemente eines dritten Stoffes mitwirken und in die Producte der Metamorphoſe eingehen.

105. Erhitzt man einen ſtickſtofffreien organiſchen Körper in einem Gefäße ohne Zutritt der äußeren Luft, eine Operation, die man *trockene Deſtillation* zu nennen pflegt, ſo theilt ſich ſein Kohlenſtoff in ſeinen Sauerſtoff und Waſſerſtoff; es bilden ſich Kohlenoxyd und Kohlenſäure auf der einen, gasförmige, tropfbare und feſte Kohlenſtoffverbindungen auf der anderen Seite, und wenn Kohlenſtoff im Ueberfluſſe vorhanden iſt, bleibt zuletzt Kohle zurück. Es vereinigen ſich alſo die Beſtandtheile des der Operation unterworfenen Körpers mit oder ohne Abſcheidung von Kohle zu neuen Verbindungen einfacherer Radicale. Verfolgt man dieſe Verbindungen vom Anfange der Operation näher, ſo findet man, daß die Producte nach Maßgabe der angewendeten Temperatur verſchieden ſind. Zuerſt und ſo lange die Temperatur nicht hoch genug iſt, entſtehen Säuren mit einfachem Radical, Kohlenſäure und brennbare Flüſſigkeiten. Später, wenn die Temperatur höher ſteigt, werden dieſe letztern Producte abermal zerſetzt, ihr Sauerſtoff vereinigt ſich mit Kohlenſtoff und Waſſerſtoff zu Kohlenoxyd, Kohlenſäure und Waſſer, mithin zu noch einfacheren Verbindungen, es ſcheidet ſich Kohle ab, und der Reſt gibt mit Waſſerſtoff feſte und flüſſige öhlartige Körper. Endlich zuletzt erhält man nur Kohle und Gaſe, und zwar Kohlenſäure, Kohlenoxyd und Kohlenwaſſerſtoff. Stickſtoffhältige Körper bilden unter denſelben Umſtänden zuerſt Ammoniak oder Cyanſäure, zuletzt Blauſäure. Begreiflich enthält das Geſagte nur den allgemeinen Abriß eines Vorganges, der nach Maßgabe der Beſchaffenheit des Gegenſtandes der Deſtillation und der Leitung letzterer durch die Wärme, eine große Mannigfaltigkeit der Erſcheinungen zeigt, und in den einzelnen Perioden die verſchiedenartigſten Gebilde hervorruft, aus welchen durch geeignete

6*

Behandlung wieder andere zu Stande kommen. Hieher gehört die Deſtillation des Holzes, der Steinkohlen, der Harze, Fette u. ſ. w. mit ihrem Heere von primären und ſecundären Producten.

106. Unter den Metamorphoſen, welche organiſche Körper durch Berührung mit einem anderen erleiden, der ſelbſt keine Verbindung eingeht, behaupten mehrere für das practiſche Leben ſehr wichtige Vorgänge, welche man unter der gemeinſchaftlichen Benennung Gährung zuſammen zu faſſen pflegt, den erſten Rang. Jedermann weiß, daß man einen organiſchen Stoff durch einen bereits im Verbrennen begriffenen anzünden, mithin in ihm dieſelbe Veränderung hervorrufen kann, die jener ſelbſt erleidet. Auf ähnliche Weiſe wirken in einer beſtimmten Action begriffene Körper auf ſolche, mit denen ſie in Berührung ſtehen, ſie machen nämlich letztere fähig, dieſelbe Veränderung zu erleiden, der ſie ſelbſt unterliegen, ohne übrigens an dieſer Veränderung einen weiteren Antheil zu nehmen. Ein merkwürdiges Beiſpiel bietet der Zucker dar, wenn man einer Löſung deſſelben in Waſſer eine verhältnißmäßig geringe Portion Hefe (Ferment) zuſetzt, und ſodann das Ganze in einer gleichmäßigen Temperatur zwiſchen 10° und 30° C ungeſtört ſich ſelbſt überläßt. Da erwärmt ſich die Maſſe, trübt ſich, gewinnt an Volum und entwickelt häufige Luftblaſen, die ſich als Kohlenſäuregas charakteriſiren. Nach und nach wird die Maſſe wieder klar, nimmt die Temperatur der Umgebung an, ſchmeckt nicht mehr ſüß, ſondern geiſtig und iſt berauſchend. Dieſes rührt davon her, daß ſich in ſelber ſtatt Zucker Alkohol oder Weingeiſt befindet. Man nennt dieſe Metamorphoſe, welche eben ſo der Traubenſaft und andere ſüße Pflanzenſäfte unter den gehörigen Umſtänden erleiden, die geiſtige oder Weingährung. Chemiſch betrachtet beſteht dieſe Veränderung darin, daß der Zucker, er mag nun Rohr- oder Traubenzucker geweſen ſeyn, durch die Einwirkung des Ferments in Kohlenſäure und Alkohol zerfällt, wovon erſtere entweicht, letzterer aber in der Flüſſigkeit zurückbleibt, aus welcher er ſich leicht abſcheiden läßt.

Zu näherer Beleuchtung des Proceſſes der geiſtigen Gährung mögen nachſtehende Bemerkungen dienen: Es iſt 1 Atom Traubenzucker $= C_{12} H_{24} O_{12}$ welchen Ausdruck man auch unter der Form

$$C_8 H_{24} O_4 + C_4 O_8 = 2\, C_4 H_{12} O_2 + 4\, CO_2$$

darſtellen kann. Aber $C_4 H_{12} O_2$ iſt die Zuſammenſetzung des Alkohols und CO_2 jene der Kohlenſäure; es kann daher 1 Atom Traubenzucker als die Verbindung von 2 Atomen Alkohol mit 4 Atomen Kohlenſäure betrachtet werden. Rohrzucker, deſſen Formel $C_{12} H_{22} O_{11}$ iſt, nimmt vorher noch 1 Atom Waſſer auf, und verwandelt ſich dadurch in Traubenzucker. Man kann die Realität dieſer Umwandlung auch durch andere Vorgänge beſtätigen; z. B. erhitzt man eine wäſſerige Löſung von Rohrzucker lange Zeit, ſo geht der Rchrzucker wirklich in Traubenzucker über, was durch Zuſatz von Schwefelſäure ſehr beſchleunigt werden kann. Die natürlich vorkommenden zuckerhältigen Pflanzenſäfte bedürfen zur Hervorrufung dieſer Veränderung des Zuſatzes von Ferment nicht, weil ſie einen ſtickſtoffhältigen Beſtandtheil ent-

halten, der ſich in Berührung mit Luft oder mit Kohlenſäure in Ferment umſetzt. Sie erleiden daher, wenn nur ſonſt die gehörigen Umſtände vorhanden ſind, gleichſam von ſelbſt die Zerfällung ihres Zuckergehaltes in Kohlenſäure und Alkohol. Dieß iſt der Fall bei dem Traubenſafte, dem Malzdecoct, Runkelrüben- oder Zuckerrohrſaft ꝛc., welche in Ruhe und bei mäßiger Temperatur ſich ſelbſt überlaſſen in Wein, Bier, Rum ꝛc. verwandelt werden. Das Ferment ſetzt ſich hier, wie bei der Gährung der mit Hefe verſetzten Zuckerlöſung, zu Boden, und kann gebraucht werden, um andere Quantitäten Zucker in Gährung zu bringen, außer man hat es zuvor getrocknet, oder auf 100° C erhitzt, oder mit Alkohol, Säuren, Alkalien ꝛc. behandelt, wodurch die Eigenſchaft, Gährung zu erregen, verloren geht. Dasſelbe geſchieht auch, wenn man dem an und für ſich gährungsfähigen Safte verſchiedene Subſtanzen, die ſich der Erfahrung zu Folge, als Hinderungsmittel der Gährung zeigen, zuſetzt, als: ſchwefelige, ſalpetrige oder arſenige Säure, Queckſilberchlorid, Kochſalz, Holzeſſig, ätheriſche Oehle, ja ſelbſt ein Uebermaß von Zucker (eingemachte Früchte). Wenn Stoffe, die keinen Zucker enthalten, gährungsfähig erſcheinen, ſo geſchieht dieſes dadurch, daß Beſtandtheile derſelben zuvor mittelbar oder unmittelbar in Zucker umgewandelt werden. Dieſes iſt der Fall z. B. bei Stärkmehl, das demnach auch geeignet iſt durch Gährung Alkohol zu liefern. Dasſelbe verwandelt ſich nämlich zuerſt in Gummi und hierauf in Zucker. Dieß erklärt, wie man aus Getreide, Erdäpfeln ꝛc. Branntwein gewinnen kann. Ueberhaupt wird man ſich nach dem hier Geſagten von Allem, was die Erfahrung in Bezug auf Bereitung geiſtiger Getränke lehrt, ohne Anſtand Rechenſchaft geben können. So wird man einſehen, warum ſaure Trauben ſchlechten oder nur ſchwachen Wein geben, warum Bier um ſo ſtärker wird, je mehr Malz man zu deſſen Bereitung anwendet. Stoffe, die viel Zucker enthalten, verlieren ihn nicht ganz bei der erſten heftigen Gährung, und geben daher ein zugleich berauſchendes und ſüßes Getränke, wie die ſogenannten Ausbrüche, den Meth ꝛc. Trauben unter Queckſilber gepreßt und ganz von der Luft abgeſperrt, geben, da hier die Bildung des Ferments ausbleibt, keinen Wein. Uebrigens dauert die Weingährung, ſelbſt wenn das Kohlenſäuregas nicht entweichen kann, ſondern ſich über dem gährendem Moſte verdichten muß, noch eine geraume Zeit fort; daher Weine mit der Zeit immer ſtärker werden, aber wenn ſie ſüß ſind, nach und nach dieſen Geſchmack verlieren, und auch, wenn ſie freie Säure enthalten, dieſelbe abſetzen und milder werden. Wird guter Wein nach der erſten Gährung in ein Gefäß luftdicht eingeſchloſſen, ſo nimmt er die bei der ferneren Gährung entwickelte kohlenſaure Luft auf, und gibt ſie erſt nach dem Oeffnen des Gefäßes allmälig wieder von ſich, wie dieſes mit dem mouſſirenden Champagner, Bouteillenbier ꝛc. der Fall iſt. Die große Menge des bei der Weingährung ſich entwickelnden Kohlenſäuregaſes geſtattet auch dieſes zu techniſchen Zwecken, z. B. zur Bereitung kohlenſaurer Salze nutzbringend zu machen, ja man leitet zu dieſem Zwecke mit Vortheil ſelbſt künſtlich eine Gährung ein. Die weinige Gährung findet auch bei dem Zurichten des Teiges zu Brod und anderem Gebäcke eine wichtige Anwendung; der Zuckergehalt des Mehles liefert durch die mittelſt ſeines Klebers oder auch durch Beihülfe eines Fermentes eingeleitete Gährung des Teiges Kohlenſäuregas, das zu deſſen Auflockerung weſentlich nothwendig iſt.

107. Man kann den Alkohol nicht unmittelbar aus ſeinen Beſtandtheilen: Sauerſtoff, Waſſerſtoff und Kohlenſtoff zuſammen-

ſetzen, ſondern gewinnt ihn lediglich aus Stoffen, welche die weinige Gährung durchgemacht haben, mittelſt Deſtillation. Wiederholt man dieſe Operation mehrere Male, ſo erhält man den Alkohol in bedeutend concentrirtem Zuſtande, und kann ihm durch geeignete Behandlung mit Subſtanzen, die eine große Verwandtſchaft zum Waſſer haben, z. B. Chlorcalcium, auch noch den letzten Antheil deſſelben entziehen. In dieſem Zuſtande heißt er abſoluter Alkohol und erſcheint als waſſerhelle, leicht bewegliche, dünne, äußerſt ſcharf ſchmeckende, flüchtige, bei 78° C. ſiedende, entzündliche, Harze und Oehle auflöſende Subſtanz, die das Gepräge dieſer Eigenſchaften auch in Verbindung mit Waſſer, mit dem ſie ſich ſehr gerne miſcht, beibehält. Der Alkohol iſt dem Phyſiker wegen mehrfältigen Gebrauches, vornehmlich als reinliches Brennmaterial wichtig. Er liefert unter dem Einfluſſe chemiſcher Kräfte mehrere höchſt merkwürdige Stoffe, darunter den, dem Phyſiker wegen ſeiner großen Flüchtigkeit beſonders willkommenen Aether (auch Schwefeläther genannt) eine waſſerhelle, dünnflüſſige Subſtanz, die ſchon bei 36° C. ſiedet. Der Aether wird durch Behandlung des Alkohols mit Schwefelſäure, deren Endreſultat Waſſerentziehung iſt, gewonnen.

Man kann den Alkohol $C_4H_{12}O_2$ als eine Verbindung des Aethers $C_4H_{10}O$ mit 1 Atom Waſſers betrachten. Der Aether ſelbſt läßt ſich als Oxyd des Aethyls $Ae = C_4H_{10}$ anſehen, welches hypothetiſche Radical der Anfangspunct einer ſehr intereſſanten Reihe zuſammengeſetzter Stoffe iſt. Bei der Aetherbereitung bildet ſich durch Verbindung der Schwefelſäure mit dem im Alkohol enthaltenen Aether zunächſt Weinſchwefelſäure oder ſaures ſchwefelſaures Aethyloxyd, das ſich wieder bei höherer Temperatur zerlegt.

108. Der Alkohol iſt in Berührung mit ſauerſtoffhältigen, oder die Oxydirung an der Luft vermittelnden Körpern einer weiteren Umänderung fähig, wodurch er höher oxydirt und in Eſſigſäure umgewandelt wird. Dieſer Vorgang führt den Namen Eſſiggährung. Sie ſetzt nothwendig Alkohol und daher die geiſtige Gährung voraus, und fordert zu ihrem Eintreten überdieß noch eine Temperatur von 25°—35° C., flüſſigen Zuſtand, und Berührung mit der Luft. Die Oxydirung ſelbſt vermitteln gewiſſe organiſche Körper, wie z. B. Ferment, ſchon gebildeter Eſſig u. dgl., auch fein zertheiltes Platin. Während dieſer Gährung wird die Maſſe trübe und bedeckt ſich mit einer kahmigen Haut. Wenn ſie ſich wieder geklärt hat, beſitzt ſie keine berauſchende Eigenſchaft mehr, ſchmeckt nicht mehr geiſtig, ſondern ſauer, kurz ſie iſt Eſſig geworden.

Der chemiſche Verlauf bei der Eſſiggährung iſt, wie Liebig gezeigt hat, folgender: Der Alkohol nimmt 2 Atome Sauerſtoff aus der Luft auf, die ſich mit 4 Atomen ſeines Waſſerſtoffes zu Waſſer verbinden. Dadurch geht der Alkohol ($C_4H_{12}O_2$) in Aldehyd ($C_4H_8O_2$) über. Dieſer Stoff verbindet ſich nun mit 2 Atomen Sauerſtoff aus der Luft, und ſo entſteht Eſſigſäurehydrat ($C_4H_8O_4$). (Die Formel der waſſerfreien Eſſigſäure iſt $C_4H_6O_3$.) Es erfolgt alſo der Uebergang des Alkohols in

Eſſigſäure nicht unmittelbar, ſondern erſt mittelſt des Aldehyds, das vorher gebildet werden muß. Daraus kann man erſehen, daß die Eſſigerzeugung nur bei gehörigem Zutritt atmoſphäriſcher, und Abfluß der des Sauerſtoffes beraubten Luft gehörig vor ſich gehen kann, indem bei mangelhaftem Luftzutritt nur der erſte Schritt erfolgt, d. i. nur Aldehyd entſteht, welches, wenn es nicht im Momente ſeiner Entſtehung Sauerſtoff vorfindet, um alſogleich in Eſſigſäure überzugehen, verflüchtiget wird. Es iſt nämlich der Siedepunct des waſſerfreien Aldehyds nur 22° C., jener der Miſchung desſelben mit 3 Theilen Waſſer 37° C., und bei 30° C. geht die Eſſigbildung am raſcheſten vor ſich. Wird aber der Flüſſigkeit das Aldehyd entzogen, ſo verhält ſich die Sache gerade ſo, als ob urſprünglich kein Alkohol vorhanden geweſen wäre, das Material zur Eſſigbildung iſt verloren gegangen, und der Rückſtand geht in Fäulniß über.

Die Kette der Stoffe, wozu das Aldehyd und die Eſſigſäure gehören, gibt zur Aufſtellung eines beſonderen Radicals, des Acetyls $C_4 H_6$ Veranlaſſung. Man kennt bis jetzt kein erſtes Oxyd desſelben im iſolirten Zuſtande; das Aldehyd iſt das Hydrat des Acetyloxydes, und die Eſſigſäure iſt Acetylſäure, in welcher das Radical 3 Atome Sauerſtoff aufgenommen hat.

109. Viele organiſche Körper, beſonders die ſtickſtoffhältigen, erleiden unter günſtigen Verhältniſſen noch eine andere Metamorphoſe, welche Fäulniß oder Verweſung genannt wird, und deren Reſultat verſchieden ausfällt, nach Maßgabe der faulenden Körper und der bei der Fäulniß obwaltenden Umſtände, insbeſondere je nachdem die atmoſphäriſche Luft mit ihrem Sauerſtoffgehalte daran Antheil nimmt oder nicht. Stickſtofffreie organiſche Körper bedürfen, um dieſe Metamorphoſe zu erleiden, die Berührung mit bereits in Fäulniß begriffenen Stoffen; ſtickſtoffhältige hingegen unterliegen derſelben in der Regel ſchon, ſobald ſie aufhören dem lebenden Organismus anzugehören, vorausgeſetzt, daß die allgemeinen Bedingungen der Fäulniß vorhanden ſind, nämlich eine Temperatur nicht unter 10° C., am beſten von 20°—30° C., und Gegenwart von Waſſer. Die Erſcheinungen, welche dieſe Metamorphoſe begleiten, ſind folgende: Der Körper ändert ſeine Farbe, wird fahl, bleich, und zuletzt gar gelbbraun, braun oder ſchwarz, ſein Zuſammenhang wird vermindert, er wird mürbe und zerfällt zuletzt in eine erdartige Maſſe; während des ganzen Vorganges entwickelt er meiſt übelriechende Gaſe. Iſt er mit der atmoſphäriſchen Luft in Berührung, ſo abſorbirt er Sauerſtoffgas, und entwickelt dafür Kohlenſäuregas, Kohlenwaſſerſtoffgas, und wenn er Stickſtoff enthält, Ammoniak; falls er aber Schwefel oder Phosphor unter ſeinen Beſtandtheilen hat, auch Schwefel- oder Phosphorwaſſerſtoffgas. Zuletzt bleibt eine Maſſe zurück, die ſtickſtofffrei und kohlenſtoffreicher iſt, als der Körper vor der Fäulniß; ſie heißt Humus (Ulmin) oder Moder. Bei gehemmtem oder ganz abgeſperrtem Luftzutritte muß der in dem betreffenden Körper enthaltene Sauerſtoff den ſonſt aus der Atmoſphäre hergenommenen erſetzen; im geſchloſſenen Raume, wie z. B. unter der Erde, können die frei gewordenen Verweſungsproducte nicht entweichen, ſondern werden zu Erd-

harz, Steinöhl u. dgl. condenſirt; aber auch hier iſt das Product der Metamorphoſe ein kohlenſtoffreicherer Körper, als jener, der die Verweſung erlitten hat.

Wenn man die chemiſche Zuſammenſetzung des der Fäulniß unterworſenen Körpers mit jener des letzten Productes der Fäulniß vergleicht, ſo kann man daraus auf den Hergang während der Metamorphoſe ſchließen. Z. B. die chemiſche Zuſammenſetzung der trockenen Holzfaſer wird durch $C_{36}H_{48}O_{24}$ ausgedrückt, jene des Humus oder Ulmins als des Rückſtandes ihrer Fäulniß unter Luftzutritt durch $C_{30}H_{24}O_{12}$. Die Erfahrung lehrt aber, daß bei der Fäulniß der Holzfaſer in einer Sauerſtoffatmoſphäre ein Theil Sauerſtoff ohne Aenderung des Volums durch Kohlenſäure erſetzt wird. Denkt man ſich demnach von der Holzfaſer H_{24} hinweggenommen und mit O_{12} der atmoſphäriſchen Luft zu Waſſer verbunden, ſo müſſen ſich zugleich C_6 und O_{12} zu Kohlenſäure verbunden haben; läßt man nun $H_{24}O_{12}$ und C_6O_{12} d. i. Waſſer und Kohlenſäure von $C_{36}H_{48}O_{24} + O_{12}$ hinweg, ſo bleibt $C_{30}H_{24}O_{12}$, die Formel für das Ulmin. Demnach beſteht die Fäulniß der Holzfaſer an der Luft in der Abſcheidung eines Theiles Waſſerſtoff unter Bildung von Waſſer, und eines Theiles Kohlenſtoff und Sauerſtoff in der Form von Kohlenſäure. Die Producte dieſer Metamorphoſe ſind demnach Waſſer, Kohlenſäure und Humus oder Moder. Die im Schooße der Erde vergrabenen mächtigen Lager von Braun- und Steinkohlen ſind höchſt wahrſcheinlich Producte der ohne Luftzutritt vor ſich gegangenen Fäulniß der Holzfaſer, und es läßt ſich durch Vergleichung der Zuſammenſetzung letzterer mit jener der genannten Kohlen auf ihren Bildungsproceß ſchließen.

110. Die größere oder geringere Leichtigkeit, mit welcher ein organiſcher Körper Metamorphoſen erleidet, hängt von ſeiner chemiſchen Zuſammenſetzung ab. Ein Stoff, der aus Atomen beſteht, die ſelbſt nur zwei Elemente enthalten, wie z. B. Kohlenwaſſerſtoff, kann natürlich ohne Ausſcheidung eines Elements nur eine Art Metamorphoſe erleiden; ein ſolcher, deſſen Atome aus mehreren Elementen beſtehen, iſt ſchon mehrerer Metamorphoſen fähig. Dieſe folgen aber in einer feſt beſtimmten Ordnung auf einander, und man kann wohl in der Regel bei jeder Metamorphoſe ſtehen bleiben, und den Eintritt der folgenden hindern, nicht aber die Ordnung ihrer Aufeinanderfolge umkehren. So z. B. muß ſich Stärke, die zur Eſſigerzeugung verwendet werden will, erſt in Gummi, dieſes in Zucker, dieſer in Alkohol verwandeln, und erſt wenn der Alkohol in Aldehyd übergegangen iſt, kann die Eſſigſäure gebildet werden. Die Mittel, durch welche man dem Fortſchreiten von einen Zuſtande zu einem folgenden in der Reihe der Metamorphoſen Einhalt thun kann, beſtehen darin, daß man den Stoff, den man in bleibendem Zuſtande erhalten will, mit geeigneten Körpern in Berührung bringt (ſ. 106 Anmerkung), hauptſächlich aber in der Entfernung der Umſtände, an welche als weſentliche Bedingungen das Eintreten der Metamorphoſe, die man verhüten will, gebunden iſt.

Da die Wichtigkeit der in das practiſche Leben tief eingreifenden Chemie täglich mehr hervortritt, ſo werden hier noch die vorzüglichſten

Quellen genannt, aus welchen der Anfänger ſtufenweiſe weitere Belehrung ſchöpfen kann. Sie ſind: Wöhler, Grundriß der Chemie, 2 Theile. Berlin 1840. Spécz, Grundriß der techniſchen Chemie. Wien 1837. Koehler, die Chemie in techniſcher Beziehung. Berlin 1840. Runge, Einleitung in die techniſche Chemie. Berlin 1836. Desſelben techniſche Chemie der nützlichſten Metalle. Berlin 1838—1839. C. G. Gmelin, Einleitung in die Chemie. Tübingen 1835—1837. Mitſcherlich, Lehrbuch der Chemie, vierte Auflage. Berlin 1841. Geiger's Handbuch der Pharmacie. Erſter Band, fünfte Aufl. bearbeitet von J. Liebig. Heidelberg 1837. Graham's Lehrbuch der Chemie, bearbeitet von Otto. Braunſchweig 1840. Berzelius, Lehrbuch der Chemie. Ueberſetzt von Wöhler, dritte Auflage. Dresden und Leipzig, 10 Bände (ſeit 1833 im Erſcheinen und der Vollendung nahe).

Zweiter Abſchnitt.

Gleichgewicht der Kräfte (Statik).

111. Bei der Erklärung des inneren Verlaufes der Erſcheinungen der Körperwelt werden wir zuletzt zur Annahme von Kräften geführt, deren allgemeiner Charakter darin beſteht, daß ſie eine Bewegung wirklich hervorbringen, oder doch hervorzubringen ſuchen (7,23). Jede ſolche Kraft hat zwar eine eigene Wirkungsweiſe, doch gibt es allgemeine Geſetze, an welche alle Kräfte gebunden ſind, und die man kennen muß, wenn man es in der Kenntniß der Erſcheinungen zur Klarheit bringen will. Der Erfolg der Wirkſamkeit einer Kraft, die nicht durch eine andere Kraft oder einen Widerſtand, der dieſelbe Wirkung zur Folge hat, wie eine Gegenkraft, aufgehoben wird, iſt Bewegung; iſt ihre Wirkung gehemmt, ſo herrſcht Gleichgewicht. Die Lehre vom Gleichgewichte heißt Statik, die von der Bewegung Dynamik; beide zuſammen machen die Mechanik aus.

Erſtes Kapitel.

Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte.

112. Wenn mehrere gleichartige Kräfte auf einen Punct nach verſchiedenen Richtungen wirken, ſo heben ſich dieſelben entweder gegenſeitig auf, ſo daß aus ihrem Zuſammenwirken keine Anregung zur Bewegung entſpringt, mithin der Punct, wenn er völlig frei und ruhend gedacht wird, in ſeiner Ruhe verbleibt; oder es geht eine Anregung zur Bewegung hervor, in Folge welcher der Punct nach einer beſtimmten Richtung fortzuſchreiten ſtrebt. Letzterer Effect könnte ſtets durch eine einzige, nach dieſer Richtung mit angemeſſener Stärke wirkende Kraft hervorgebracht werden, die alſo den vorhandenen Kräften der Wirkung nach gleich gilt, und ſomit denſelben ſubſtituirt werden darf. Dieſe Kraft wird die Reſultirende genannt, und die Kräfte, welche ſie der Wirkung nach erſetzt, heißen die Componenten. Die Reſultirende mehrerer Kräfte finden, heißt dieſe Kräfte zuſammenſetzen; ſtatt Einer Kraft mehrere ihr gleichgeltende ſetzen, heißt die Kraft zerlegen.

113. Aus der Art, wie wir bei dem Meſſen der Kräfte zu Werke gehen (25), erhellet von ſelbſt, daß die Reſultirende mehrerer Kräfte,

die nach derſelben Richtung an einem Puncte angebracht ſind, der Summe aller Kräfte gleich ſey und nach eben dieſer Richtung wirke. Treiben aber zwei Kräfte einen Punct nach gerade entgegengeſetzten Richtungen, ſo iſt die Reſultirende dem Unterſchiede der Kräfte gleich, und wirkt nach der Richtung der größeren Componente.

114. Wenn die Richtungen zweier Kräfte P und Q einen Winkel einſchließen, ſo können ſie einander nicht aufheben. Denn es ſey A (Fig. 6) der Angriffspunct, Ax die Richtung der Kraft P, Ay die der Kraft Q, und man ſetze, ſie heben einander auf. Verlängert man xA nach z, und denkt ſich nach der Richtung Az eine der P entgegengeſetzte Kraft R angebracht; ſo iſt dieſe Kraft die Reſultirende von allen drei Kräften, ihre Größen mögen wie immer beſchaffen ſeyn, alſo auch, wenn $R = P$ iſt. In letzterem Falle kann man aber, weil P und R einander aufheben, auch Q als die Reſultirende von P, Q und R betrachten. Es müßte daher von den zwei Kräften Q und R die eine genau das leiſten, was die andere leiſtet, welches abſurd iſt. Es heben daher die Kräfte P, Q einander nicht auf, ſondern ſie haben eine Reſultirende. Die Richtung derſelben fällt in die Ebene des Winkels xAy zwiſchen Ax und Ay, denn es iſt kein Grund vorhanden, warum dieſe Richtung eher auf der einen als auf der anderen Seite außerhalb genannter Ebene liegen ſollte.

115. Zwei gleiche Kräfte, deren Richtungen einen Winkel einſchließen, haben eine Reſultirende, deren Richtung den Winkel halbirt; denn es iſt wieder kein Grund vorhanden, warum letztere Richtung näher an der Richtung der einen als der anderen Kraft liegen ſoll.

116. Iſt Az (Fig. 7) die Richtung der Reſultirenden R zweier unter dem Winkel xAy auf den Punct A wirkenden Kräfte P und Q, und vergrößert man die eine Kraft, z. B. P um das Stück P′, ſo macht die Richtung der Reſultirenden S der Kräfte $P + P'$ und Q mit Ax einen kleineren Winkel als Az. Man kann nämlich, weil R den zwei Kräften P und Q äquivalent iſt, ſtatt der Kräfte $P + P'$ und Q, auch die beiden Kräfte P′ und R ſetzen, wovon erſtere nach der Richtung Ax und letztere nach Az wirkt, d. h. S als die Reſultirende von P′ und R betrachten. Die Richtung dieſer Reſultirenden muß nun innerhalb des Winkels xAz z. B nach Au fallen, wodurch die Behauptung erwieſen iſt.

Denkt man ſich anfänglich die Kraft P ſehr klein im Vergleiche mit Q, ſo fällt die Richtung der Reſultirenden ſehr nahe an Ay; wächſt nun P allmälig durch alle denkbaren Zwiſchenſtufen, ohne Aenderung der Richtungen Ax und Ay und der Größe der Kraft Q, ſo wird der Winkel yAz, den die Richtung Az der Reſultirenden mit der Richtung der Kraft Q macht, durch alle Zwiſchenſtufen der Größe wachſen, und dem Winkel yAx ſo nahe gebracht werden können, als man will. Hieraus folgt, daß wenn eine Kraft Q gegeben iſt, man nach jeder mit ihrer Richtung Ay einen gegebenen Winkel bildenden Richtung Ax eine Kraft P von ſolcher Größe angebracht denken kann, daß

die Reſultirende der Kräfte P und Q irgend eine innerhalb des Winkels x A y beliebig gewählte Richtung erhält.

117. Es ſeyen (Fig. 8) P, Q zwei nach den Richtungen Ax, Ay auf den Punct A wirkende Kräfte, und ihre Reſultirende R habe die Richtung Az. Setzt man die Kräfte P, Q noch einmal, ſo wird auch ihre Reſultirende R noch einmal entſtehen; wirken alſo die Kräfte 2 P, 2 Q nach den Richtungen A x, A y, ſo wird ihre Reſultirende = 2 R ſeyn, und dieſelbe Richtung A z haben, welche der Reſultirenden R der einfachen Kräfte P, Q zukommt. Eben ſo überzeugt man ſich, daß, wenn nach den vorigen Richtungen A x, A y die Kräfte 3 P, 3 Q angebracht werden, die Reſultirende 3 R entſtehen und gleichfalls nach der Richtung A z wirken wird. Führt man dieſe Betrachtungsweiſe weiter fort, ſo wird man zu dem Schluſſe geleitet, daß wenn zwei Kräfte P, Q die Reſultirende R geben, und man ſtatt genannter Componenten die mit ihnen in einerlei Verhältniß ſtehenden, d. h. der Proportion $P' : P = Q' : Q$ Genüge leiſtenden Kräfte P′, Q′ nach denſelben Richtungen wirken läßt, die Reſultirende R′ der letzteren Kräfte zur Reſultirenden R der erſtern in dem nämlichen Verhältniſſe ſtehen, d. h. die Proportion $R' : R = P' : P = Q' : Q$ Statt finden, und ihre Richtung gegen die Richtungen der Componenten unter denſelben Winkeln geneigt ſeyn wird, welche die Richtung der Kraft R mit den Richtungen ihrer Componenten macht. Da eine Aenderung der Größe einer der Componenten eine Aenderung der Richtung der Reſultirenden zur Folge hat, ſo muß auch umgekehrt, wenn die Richtung der Reſultirenden R′ zweier auf den Punct A unter einem Winkel x A y wirkenden Kräfte P′, Q′ gegen die Componenten ſo liegt, wie die Richtung der Reſultirenden R gegen die Richtungen ihrer Componenten P, Q, das Verhältniß $Q' : Q$ dem Verhältniſſe $P' : P$ gleich kommen, und daher auch zwiſchen R′ und R dasſelbe Verhältniß beſtehen muß, ſo daß die Proportion

$$P' : P = Q' : Q = R' : R \quad \text{gilt.}$$

118. Es ſeyen nun an einem Puncte A (Fig. 9) nach den einen **rechten Winkel** einſchließenden Richtungen A x, A y, die Kräfte P, Q angebracht, ſo läßt ſich ihre Reſultirende nach **Lambert** (Beiträge zum Gebrauche der Mathematik. 2. Theil, Berlin 1770. S. 468) folgendermaßen finden. Man nehme an, dieſe unbekannte Reſultirende habe die Richtung A z und ihre Größe ſey R. Zieht man die gerade Linie u A v in der Ebene x A y ſenkrecht gegen A z, ſo ſind die beiden Winkel u A x, y A z einander gleich, denn jeder derſelben macht mit dem Winkel x A z zuſammen einen rechten Winkel aus, und aus einem ähnlichen Grunde haben auch die Winkel x A z, v A y einerley Größe. Es liegt alſo die A x innerhalb des rechten Winkels u A z, gerade ſo wie A z innerhalb des rechten Winkels y A x. Denkt man ſich nun nach den Richtungen A u, A z die Kräfte H, I, deren Größen durch die Proportion $H : Q = I : P = P : R$ beſtimmt werden, angebracht, ſo muß eben weil R die Reſultirende der Kräfte Q, P iſt, auch P die Reſultirende von H und I ſeyn (117), und es können dem-

nach letztere zwei Kräfte der Kraft P ſubſtituirt werden. Aus gleichem Grunde wird, wenn man nach Av, Az Kräfte K, L anbringt, die der Proportion K : P = L : Q = Q : R Genüge leiſten, Q die Reſultirende dieſer Kräfte ſeyn, und man kann dieſelben daher an die Stelle der Kraft Q ſetzen. Es bringen ſomit die vier auf den Punct A nach den Richtungen Au, Az, Av, Az wirkenden Kräfte H, I, K, L dieſelbe Wirkung hervor, wie die urſprünglich gegebenen Kräfte P, Q, und müſſen alſo gleichfalls die nach Az wirkende Kraft R zur Reſultirenden haben. Allein die Kräfte H, K wirken einander gerade entgegen, und da aus obigen Proportionen $H = \frac{QP}{R}$, $K = \frac{PQ}{R}$ folgt, ſo ſind dieſe Kräfte auch einander gleich; ſie heben daher einander auf und können ſo des Effectes unbeſchadet weggelaſſen werden. Es iſt demnach R die Reſultirende der übrigen zwei Kräfte I, L, und da dieſe nach derſelben Richtung Az wirken, ſo iſt nothwendig

$$R = I + L.$$

Obige Proportionen geben $I = \frac{P^2}{R}$, $L = \frac{Q^2}{R}$ daher beſteht die Gleichung

$$R = \frac{P^2}{R} + \frac{Q^2}{R}$$

aus welcher endlich $R^2 = P^2 + Q^2$ folgt. Man ſieht hieraus, daß wenn zwei Kräfte P, Q unter einem rechten Winkel auf einen Punct wirken, das Quadrat der Größe der Reſultirenden der Quadratſumme der Größen der Componenten gleich iſt.

119. Man kann hiernach, wenn die Richtungen der zwei Componenten einen rechten Winkel machen, die Größe der Reſultirenden durch eine einfache geometriſche Conſtruction finden. Man ſchneide von dem gemeinſchaftlichen Angriffspuncte A (Fig. 10) der Kräfte P, Q auf ihren Richtungen Ax, Ay Stücke AB, AC ab, deren Längen ſich verhalten wie die Größen der Kräfte, ſo nämlich: daß AB : AC = P : Q iſt. Man ziehe CD parallel zu AB und BD parallel zu AC, und verbinde A mit dem Durchſchnittspuncte D, ſo verhält ſich die Diagonale AD des Rechteckes ABDC zu deſſen Seiten AB, AC, wie die Reſultirende R zu den Componenten P, Q. Wegen des rechten Winkels ABD iſt nämlich $AD^2 = AB^2 + BD^2$ oder wegen BD = AC, $AD^2 = AB^2 + AC^2$. Nach dem ſo eben bewieſenen iſt $R^2 = P^2 + Q^2$. Da nun die obige Proportion $AB^2 : AC^2 = P^2 : Q^2$, mithin $AB^2 + AC^2 : AB^2 : AC^2 = P^2 + Q^2 : P^2 : Q^2$ gibt, ſo hat man auch $AD^2 : AB^2 : AC^2 = R^2 : P^2 : Q^2$ und ſomit

$$AD : AB : AC = R : P : Q$$

wie es behauptet wurde.

Da ſich Größen jeder Art ſo gut durch Längen von Linien wie durch Zahlen ausdrücken und vorſtellen laſſen, ſo kann man durch die Linien AB, AC die Kräfte P, Q vorſtellen. Die hier ausgeführte Conſtruction zeigt nun, daß unter dieſer Vorausſetzung die Größe der Reſultirenden R zweier unter einem rechten Winkel wirkenden Kräfte,

durch die Diagonale AD des mit den genannten Linien als Seiten verzeichneten Rechteckes vorgeſtellt werde. Es handelt ſich jetzt zur vollkommenen Kenntniß der Reſultirenden nur noch um ihre Richtung. Man kann beweiſen, daß wenn die geraden AB, AC die Richtungen der Kräfte P, Q ſelbſt ſind, auch die Richtung der Reſultirenden durch die Diagonale AD angezeigt werde, wie aus Nachſtehendem zu erſehen iſt.

120. Da die Richtung der Reſultirenden zweier Kräfte ſich nicht ändert, wenn man ſtatt dieſer Kräfte zwei andere ſetzt, die in demſelben Verhältniſſe ſtehen, ſo hängt dieſe Richtung nicht von der abſoluten Größe der Kräfte, ſondern lediglich von ihrem Quotienten ab. Ein gleiches gilt offenbar auch von der Richtung der Diagonale eines Rechteckes; ihre Stellung gegen die Seiten bleibt ungeändert, ſobald dieſe einerlei Verhältniß zu einander beibehalten. Es muß daher, wenn zwei Kräfte der Größe und Richtung nach durch die Seiten eines Rechteckes vorgeſtellt werden, die Richtung der vom Angriffspuncte ausgehenden Diagonale zu jener der Reſultirenden der Kräfte, in einer gewiſſen, und wie leicht einzuſehen iſt, von dieſem Verhältniſſe ganz unabhängigen Beziehung ſtehen, da die eine Richtung durch das Verhältniß der Kräfte, und wieder dieſes Verhältniß durch die andere Richtung gegeben iſt. Um dieſe Beziehung zu erforſchen, ſeyen (Fig. 11) Ax, Az, Au drei Richtungen, wovon die erſte mit der zweiten den Winkel α und die zweite mit der dritten den Winkel β bildet. Dieſe Richtungen ſeyen an die einzige Bedingung gebunden, daß die Winkelſumme $\alpha + \beta$, d. i. der Winkel xAu weniger betrage als ein Rechter, ſonſt aber ganz der Willkür überlaſſen. Wenn man nun auf A nach der Richtung Ax die Kraft P wirken läßt, kann man ſtets nach der darauf ſenkrechten Ay eine ſolche Kraft Q geſetzt denken, daß die Reſultirende, die ſie mit P erzeugt, die Richtung Az hat, und wenn wir dieſe Reſultirende R nennen, läßt ſich gleichfalls nach der auf Az ſenkrechten Richtung Av eine Kraft S ſo annehmen, daß die Reſultirende R′ von R und S nach der Richtung Au wirkt. Da die Kräfte P und Q der Kraft R äquivalent ſind, ſo iſt die Reſultirende der Kräfte R und S nämlich R′ zugleich die Reſultirende der drei Kräfte P, Q und S. Statt S aber kann man zwei Kräfte P′ und Q′ ſetzen, deren erſtere der Richtung Ax gerade entgegen nach Ax′, die zweite aber nach Ay wirkt, wenn nur, da hier $yAv = xAz$ und $x'Av = yAz$ iſt, die Proportion $P' : Q = Q' : P = S : R$ Statt findet (117). Es iſt alſo R′ auch die Reſultirende der vier Kräfte P, Q, P′, Q′, oder weil P′ und P gerade entgegengeſetzt, und Q′, Q übereinſtimmend wirken, die Reſultirende der zwei Kräfte $P - P'$, $Q + Q'$, Wenn daher die Richtung der Reſultirenden zweier unter einem rechten Winkel wirkenden Kräfte mit der Richtung einer Componente in einem Falle den Winkel α, in einem anderen Falle den Winkel β bildet, ſo ſind wir jetzt im Stande, die Kräfte, auf deren Verhältniß es eigentlich nur ankommt, ſo abzuändern, daß die Richtung der Reſultirenden mit der Richtung einer Componente den Winkel $\alpha + \beta$ macht.

Dieß vorausgeſetzt, ſtelle (Fig. 12) die gerade Linie AB die Kraft P, und die auf AB ſenkrechte AC die Kraft Q vor, ſo wird die Größe der Reſultirenden R durch die Diagonale AD des Rechteckes ABDC vorgeſtellt. Zieht man AE ſenkrecht auf AD und nimmt man die Länge AE ſo, daß ſelbe der Größe der Kraft S entſpricht, ſo gibt die Diagonale AF des Rechteckes ADFE die Größe der Reſultirenden R' an. Nennen wir die Winkel BAD, DAF der Kürze wegen a und b, ſo iſt $BAF = a + b$. Um die unter einem rechten Winkel wirkenden Kräfte zu finden, bezüglich welcher bei der Conſtruction der Größe der Reſultirenden dieſer letztere Winkel der Diagonale des Rechteckes mit einer Seite zum Vorſchein kommt, hat man nur vom Puncte F auf die AB und auf die verlängerte AC die Senkrechten FG und FH zu fällen; die verlangten Kräfte werden durch AG und AH als Seiten des mit der Diagonale AF verſehenen Rechteckes AGFH angegeben. Setzen wir $BG = P''$, $CH = Q''$, ſo werden dieſe Kräfte wegen $AG = AB - BG$ und $AH = AC + CH$ durch $P - P''$ und $Q + Q''$ ausgedrückt. Da die Winkel FDI, ADB gleich ſind, ſo ſind die bei B und I rechtwinkeligen Dreiecke FDI, ADB ähnlich, mithin findet die Proportion

$$DI : DB = IF : AB = DF : AD$$

Statt. Aber es iſt

$$DI = BG = P'',\ DB = AC = Q,\ IF = CH = Q'',\ DF = AE = S$$

folglich iſt dieſe Proportion mit folgender:

$$P'' : Q = Q'' : P = S : R$$

einerlei. Vergleicht man dieſe mit der oben aufgeſtellten, ſo zeigt ſich

$$P'' = P',\ Q'' = Q'.$$

Es ſind demnach die Kräfte, welchen die Winkelſumme $a + b$ gehört, keine anderen als jene, welchen die Winkelſumme $\alpha + \beta$ entſpricht. Wenn daher die Richtung der Reſultirenden zweier unter einem rechten Winkel auf einen Punct wirkenden Kräfte mit der Richtung einer Componente in einem Falle den Winkel α, in einem zweiten den Winkel β, in einem dritten den Winkel $\alpha + \beta$ bildet, und es zeigt ſich, daß in den zwei erſten Fällen die Diagonale des Rechteckes, deſſen Seiten den Componenten proportional ſind, mit derſelben Componente in dem erſten Falle den Winkel a, und in dem zweiten den Winkel b macht, ſo iſt dieſer Winkel in dem dritten Falle nothwendig $= a + b$.

Setzen wir jetzt $\beta = \alpha$, wobei auch $b = a$ werden muß, ſo folgt hieraus, daß dem Winkel $\alpha + \alpha = 2\alpha$ auf der einen Seite, der Winkel $a + a = 2a$ auf der andern zugehört. Nehmen wir ferner $\beta = 2\alpha$ und auf das ſo eben erhaltene Reſultat fußend $b = 2a$, ſo folgt weiter, daß dem Winkel $\alpha + 2\alpha = 3\alpha$ der Winkel $a + 2a = 3a$ entſpricht. Dieſe Schlußweiſe läßt ſich beliebig fortſetzen und dabei der anfängliche Winkel α ſo klein nehmen als man will. Man kommt damit zur nothwendigen Folge, daß die Winkel, welche die Richtung der Reſultirenden mit der Richtung einer Componente, und die Diagonale des Rechteckes der Kräfte mit derſelben Componente, in verſchie-

Bayeriſche Staatsbibliothek München

denen Fällen bildet, mit einander in einerlei Verhältniß ſtehen. Finden alſo für erſteren Winkel in zwei Fällen die Werthe α und β, und für letzteren die Werthe a und b Statt, ſo iſt allgemein $a:b = \alpha:\beta$ oder was dasſelbe heißt $\frac{a}{\alpha} = \frac{b}{\beta}$. Da nun dieſem gemäß der Quotient des Winkels der Reſultirenden mit einer Componente durch den correſpondirenden Winkel der Diagonale des Kräftenrechteckes getheilt in allen Fällen denſelben Werth hat, ſo braucht man dieſen Werth nur in einem einzigen Falle zu kennen, um ihn allgemein anzugeben. Aber in dem ſpeciellen Falle, wenn die beiden Componenten einander gleich ſind, wird der Winkel ihrer Richtungen von der Richtung der Reſultirenden halbirt (115), und dasſelbe geſchieht auch durch die Diagonale des Rechteckes der Kräfte, weil dieſes hier als ein Quadrat erſcheint; in dieſem Falle iſt alſo ſowohl der Winkel α als auch der Winkel a die Hälfte eines Rechten, und daher ſind beide Winkel gleich: man kann folglich auch im Allgemeinen die Gleichheit der Winkel α und a ausſprechen, d. h. die Richtung der Reſultirenden zweier unter einem rechten Winkel wirkenden Kräfte und die Richtung der Diagonale des Rechteckes der Kräfte ſtimmen überein.

121. Nach dieſen Vorbereitungen läßt ſich allgemein beweiſen, daß die Diagonale des Parallelogrammes, deſſen Seiten der Richtung und Größe nach zweien unter einem beliebigen Winkel auf einen Punct wirkenden Kräften entſprechen, die Richtung und Größe der Reſultirenden dieſer Kräfte vorſtellt. Es ſey A (Fig. 13) der Angriffspunct zweier Kräfte, deren Richtungen und Größen durch AB und AC angezeigt werden. Man conſtruire das Parallelogramm ABDC, ziehe die Diagonale AD, dann die Gerade EAF auf ſelbe ſenkrecht, und fälle aus C und B auf EF und AD die Senkrechten CE, BF, CG, BH. Offenbar kann man dem vorhergehenden Lehrſatze gemäß, ſtatt AC die Kräfte AE und AG und ſtatt AB die Kräfte AF und AH ſetzen. Es iſt alſo die Reſultirende der vier Kräfte AE, AG, AF, AH zugleich die Reſultirende der Kräfte AB, AC. Aber die Congruenz der Dreiecke CDG, BAH lehrt, daß CG, HB und folglich auch AE, AF gleich ſind. Die durch dieſe Linien vorgeſtellten Kräfte heben alſo einander auf, denn ſie wirken einander mit gleicher Stärke entgegen. Es iſt demnach die zu ſuchende Reſultirende lediglich das Erzeugniß der zwei Kräfte AG und AH, mithin weil dieſe einerlei Richtung haben, nach derſelben Linie gerichtet und der Summe $AG + AH$ gleich. Aber aus der Congruenz der Dreiecke CDG, BAH folgt auch $GD = AH$, daher iſt

$AG + AH = AG + GD = AD$, d. h. die Diagonale AD des Kräftenparallelogramms ABDC zeigt die Größe und Richtung der in Frage ſtehenden Reſultirenden an.

122. Mit Hülfe des ſo eben bewieſenen Lehrſatzes kann man nicht bloß von zwei, ſondern auch von mehreren Kräften, die einen gemeinſchaftlichen Angriffspunct haben und nach verſchiedenen Richtungen wirken, die Reſultirende finden. Wären z. B. P, P′, P″ die

Kräfte (Fig. 14), A ihr Angriffspunct, AB, AC, AD ihre Richtungen und Größen; ſo ziehe man BF der AC parallel und gleich, eben ſo FG der AD parallel und gleich, und es iſt AG die Reſultirende aller gegebenen Kräfte.

123. Durch ein umgekehrtes Verfahren kann man jede Kraft in eine beliebige Anzahl von Kräften zerlegen, die ihr zuſammen an Wirkung gleich kommen. Um nämlich eine Kraft zunächſt in zwei Kräfte zu zerlegen, darf man ſie nur als Diagonale eines Parallelogramms betrachten. Die in dem Angriffspuncte derſelben zuſammenſtoßenden Seiten des Parallelogramms geben die Richtungen und Größen der geſuchten Kräfte an. Hiebei ſind die Richtungen oder die Größen beider Kräfte, oder die Richtung der einen und die Größe der andern, innerhalb gewiſſer, durch die Möglichkeit das Parallelogramm zu verzeichnen bedingter Grenzen willkürlich, und können daher nach Belieben gewählt werden. Indem man mit jeder der gefundenen Kräfte wieder ſo verfährt, zerlegt man erſtere in jede beliebige Anzahl von Kräften.

124. Der Angriffspunct A einer Kraft P, deren Richtung Ax iſt (Fig. 15), kann ohne Aenderung der Wirkung in jeden anderen Punct B verſetzt werden, welcher in der wie immer verlängerten Geraden Ax liegt, und mit A unveränderlich verbunden iſt. Denn denkt man ſich in B zwei gleiche und entgegengeſetzte Kräfte P′ und P″, wovon erſtere die Richtung Bx, letztere die Richtung BA hat, ſo bleibt die Wirkung von P dieſelbe, wie die aller drei Kräfte. Iſt überdieß noch $P = P' = P''$, ſo heben ſich P und P″ auf, es bleibt P′ übrig, und die Wirkung iſt wie im Anfange. — Wenn man den Angriffspunct irgend wohin, z. B. nach C, außer der Richtung Ax verſetzte, ſo würde ein ganz anderer Erfolg Statt finden; denn brächte P in C dieſelbe Wirkung hervor, wie in B oder A, ſo müßte Gleichgewicht herrſchen, wenn die Kraft P in A oder in B nach einer, und in C nach der entgegengeſetzten Richtung wirkte. In dieſem Falle würde aber eine drehende Bewegung erfolgen. Man darf daher den Angriffspunct einer Kraft nie aus ihrer Richtung verſetzen, und kann von einem Punkte, von dem man weiß, daß man den Angriffspunct einer Kraft dahin verſetzen darf, mit Grund behaupten, er liege in der Richtung der Kraft.

125. Mit Hülfe dieſer Bemerkung und des vorhergehenden Lehrſatzes kann man auch die Zuſammenſetzung von Kräften bewerkſtelligen, die in derſelben Ebene wirken und verſchiedene Angriffspuncte haben, wenn dieſe nur unveränderlich mit einander verbunden ſind. Es ſeyen A und B (Fig. 16) die Angriffspuncte der nach den divergirenden Richtungen Ax, By wirkenden Kräfte P und Q. Man verlängere die Linien Ax, By bis ſie ſich in C ſchneiden, verſetze den Angriffspunct jeder der Kräfte dahin, nehme die Stücke CD, CE ſo an, daß $CD : CE = P : Q$ erſcheint, conſtruire das Parallelogramm CDFE; ſo iſt CF der Reſultirenden von P und Q proportional. Zieht man von einem beliebigen Puncte G der Richtung der CF, die auf Cx und Cy Senkrechten GH und GK, und verbindet man H mit K, ſo läßt ſich um das Viereck CHGK wegen der

Bayerische
Staatsbibliothek
München

rechten Winkel bei H und K ein Kreis beſchreiben, wovon HG eine Sehne wird, deßhalb ſind die Winkel HCG und HKG gleich; ferner ſind die Winkel CDF, HGK gleich, da die Schenkel des einen auf jenen des andern ſenkrecht ſtehen, und beide Winkel von einerlei Art ſind; es ſind daher die Dreiecke CDF, HGK ähnlich. Hieraus folgt die Proportion CD : DF = GK : GH oder wegen DF = CE,

CD : CE = GK : GH, mithin P : Q = GK : GH.

Man kann daher ſagen: Die Kräfte P und Q verhalten ſich verkehrt wie die Senkrechten GH, GK, welche von irgend einem Puncte G der Reſultirenden auf die Richtungen dieſer Kräfte gezogen werden.

Nennt man die durch die Diagonale CF vorgeſtellte Reſultirende R, ſo gibt die Aehnlichkeit der erwähnten Dreiecke

P : Q : R = GK : GH : HK.

Es iſt alſo zugleich dieſe Reſultirende der Verbindungslinie HK der Endpuncte dieſer Senkrechten proportional.

In dem Dreiecke CDF iſt CD : DF : CF = *sin.* CFD : *sin.* DCF : *sin.* CDF, daher wegen CFD = BCG und CDF = 180° — ACB,

P : Q : R = *sin.* BCG : *sin.* ACG : *sin.* ACB.

Es iſt alſo jede der Kräfte P, Q, R dem Sinus des Winkels, den die Richtungen der zwei anderen bilden, proportionirt.

126. Sind P und Q zwei nach parallelen Richtungen und nach derſelben Gegend hin wirkende Kräfte, A und B (Fig. 17) ihre unveränderlich verbundenen Angriffspuncte, AC und BD ihre Richtungen und Größen; ſo kann man ohne Aenderung des Effectes in A und B zwei andere gleiche und entgegengeſetzte Kräfte, deren Richtungen Verlängerungen der Verbindungslinie AB ihrer Angriffspuncte ſind, anbringen. Sind AE und BF dieſe Kräfte, ſo ſetze man AE mit AC, BF mit BD zuſammen, und ſtelle, indem man die Parallelogramme AEGC und BFHD conſtruirt, ihre Reſultirenden AG und BH dar. Verlängert man die Geraden AG, BH bis ſie ſich ſchneiden; ſo kann ihr Durchſchnittspunct K, in ſo fern er mit A und B unveränderlich verbunden gedacht wird, den gemeinſchaftlichen Angriffspunct der Kräfte AC, AE und BD, BF vorſtellen. Nimmt man nämlich KL = AG, KM = BH, und zieht Kx parallel mit AC, yKz parallel mit AB; ſo kann man KL in die Kräfte KO = AE und KN = AC und eben ſo KM in KS = BF und KR = BD zerlegen. Da aber KO und KS ſich als gleiche und entgegengeſetzte Kräfte aufheben, ſo bleibt als Reſultirende KN + KR = P + Q. Sie iſt daher gleich der Summe der gegebenen Kräfte, und wirkt mit ihnen parallel. Zur Beſtimmung ihrer Richtung hat man wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke AEG, ATK, dann der Dreiecke BFH, BTK

AE : EG = AT : TK,

BF : FH = BT : TK, mithin

EG : FH = BT : AT, d. i. P : Q = BT : AT.

Die Richtung der Reſultirenden theilt daher die Verbindungslinie AB

Bayerische Staatsbibliothek München

der Angriffspuncte in zwei Theile, die mit den Kräften im verkehrten Verhältniſſe ſtehen.

Da die Beſtimmung des Punctes T unabhängig von dem Winkel erfolgte, den P und Q mit AB machen; ſo muß dieſer Punct derſelbe bleiben, wenn ſich die Richtungen von P und Q ohne Aenderung des Parallelismus um ihre Angriffspuncte drehen. Deßhalb heißt der Punct T der **Mittelpunct** der parallelen Kräfte.

127. Es iſt für ſich klar, daß man durch dieſes Verfahren von mehreren parallelen und gleich gerichteten Kräften die Reſultirende finden könne. Man darf hier nur zuerſt für zwei dieſer Kräfte die Reſultirende ſuchen; dann die Reſultirende für die ſo eben gefundene und die dritte gegebene Kraft; deren Reſultirende man eben ſo mit der vierten Kraft, wenn eine ſolche vorhanden iſt, combinirt u. ſ. w. Die letzte Reſultirende wird offenbar die Reſultirende aller gegebenen Kräfte und zwar der Summe dieſer Kräfte gleich ſeyn. Betrachtet man den Mittelpunct je zweier combinirten Kräfte als den Angriffspunct ihrer Reſultirenden, ſo iſt der letzte ſo erhaltene Mittelpunct auch der **Mittelpunct des ganzen Syſtems** der gegebenen Kräfte, d. h. er beſitzt die Eigenſchaft, daß die Richtung der Reſultirenden aller gegebenen Kräfte ſtets durch ihn geht, wenn man auch den Richtungen dieſer Kräfte, ohne Aenderung der Angriffspuncte, andere parallele Lagen ertheilt. Nicht minder klar iſt es, daß man auch umgekehrt jede gegebene Kraft in jede beliebige Anzahl paralleler, nach derſelben Gegend gerichteten Kräfte auflöſen könne, deren Summe der gegebenen Kraft gleich iſt.

128. Wirken die Kräfte P und Q einander parallel, aber nach entgegengeſetzten Richtungen, ſo iſt ihre **Reſultirende gleich ihrem Unterſchiede**, wirkt mit der größeren Kraft nach einerlei Gegend, und ihre Richtung ſchneidet die Verbindungslinie der Angriffspuncte der Kräfte nach demſelben Verhältniß, wie im vorhergehenden Falle. Man kann dieſen Satz durch die dort angewandte Conſtruction beweiſen, oder auch ihn, wie folgt, auf den erſteren zurückführen. Es ſeyen (Fig. 18) Ax und By die Richtungen der Kräfte P und Q, A und B ihre Angriffspuncte, und es werde $P < Q$ vorausgeſetzt. Man kann ſich Q in zwei Kräfte zerlegt denken, wovon eine P′, deren Richtung Ax′ ſey, der P gleich und entgegengeſetzt iſt, während die andere, die R heißen mag, und deren Größe und Angriffspunct noch unbekannt iſt, in C angebracht ſey und längs Cz mit Q parallel wirke. Da ſich P und P′ aufheben, ſo bleibt nur die Kraft R übrig; dieſe iſt daher die Reſultirende der Kräfte P, Q, und man hat $Q = P + R$ oder $R = Q - P$. Da $P' : R = BC : AB$ (126), und daher $P : P + R = BC : BC + AB$ mithin $P : Q = BC : AC$ iſt; ſo gilt auch hier das obige Geſetz der Lage des Angriffspunctes der Reſultirenden. Auch da iſt C unabhängig von der Neigung der Kräfte gegen AC, mithin wieder ein **Mittelpunct** der Kräfte.

Wenn $P = Q$ iſt, kann die Reſultirende weder die Richtung der einen, noch die Richtung der anderen Kraft haben, weil zu beiden kein Grund

vorhanden iſt. In dieſem Falle kann es daher keine Reſultirende geben. Dieſes folgt auch aus Obigem; denn es wird, wenn $P = Q$ iſt, $R = Q - P = 0$, mithin wegen $P : R = BC : AB$ auch

$$P : 0 = BC : AB \quad \text{d. i.} \quad BC = \frac{P . AB}{0} = \infty$$

Um dieſes Reſultat zu verſtehen, muß man erwägen, daß der Punct C um ſo weiter hinausrückt, je weniger die Kräfte P, Q von einander verſchieden ſind, d. h. je kleiner R wird. Für $P = Q$ rückt er alſo in das Unendliche hinaus.

129. Das Product aus einer Kraft in die Senkrechte, die aus einem gegebenen Puncte auf die Richtung dieſer Kraft gezogen worden, heißt ihr Moment in Beziehung auf dieſen Punct. Liegt der Punkt, worauf das Moment bezogen wird, in der Richtung der Reſultirenden zweier Kräfte, ſo ſind ihre Momente einander gleich. Denn für Kräfte, deren Richtungen nicht parallel ſind, wie in Fig. 16, ſie mögen nun einen gemeinſchaftlichen Angriffspunct haben oder nicht, iſt in Bezug auf jeden Punct G der Richtung der Reſultirenden immer

$$P . GH = Q . GK \quad (125).$$

Sind die Kräfte parallel, wie in 126 angenommen wurde, ſo gilt für ſie dasſelbe Geſetz; denn es ſeyen P und Q zwei ſolche Kräfte, A und B (Fig. 19) ihre Angriffspuncte, Ax und By ihre Richtungen, und die Richtung der Reſultirenden, welche AB in C ſchneidet, ſey Cz. Iſt nun H ein Punct, worauf man die Momente der Kräfte bezieht, ſo ziehe man HI, HK auf Ax und By ſenkrecht, ferner LM durch H mit AB parallel, und man hat:

$$P : Q = BC : AC = HM : HL,$$

ferner wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke LHI, KHM,

$$HM : HL = HK : HI, \quad \text{mithin}$$

$$P : Q = HK : HI \quad \text{oder} \quad P . HI = Q . HK.$$

130. Man kann dieſen Satz auch umkehren und zeigen, daß ein innerhalb des Winkels der Richtungen zweier Kräfte befindlicher Punct, für den die Momente der Kräfte gleich ſind, in der Richtung ihrer Reſultirenden liegen muß. Es ſeyen nämlich P und Q zwei Kräfte (Fig. 20), A und B ihre Angriffspuncte, Ax und By ihre nicht parallelen Richtungen, und es werde vorausgeſetzt, daß für den Punct E, wovon auf Ax und By die Senkrechten EF und EG gezogen ſind

$$P . EF = Q . EG$$

ſey. Soll die Reſultirende der zwei Kräfte P und Q nicht durch E gehen, ſo gehe ſie durch H. Man verlängere xA und yB bis ſie ſich in K ſcheiden, ziehe KH, welche die Richtung der Reſultirenden der Kräfte P, Q ſeyn wird, ferner HL ſenkrecht auf Kx, und man hat $P . HL = Q . HG$ (129). Aus dieſer Gleichung und aus der Vorausſetzung folgt $EF : HL = EG : HG$; es müßten daher die Dreiecke EFG, HLG deren bei E und H liegende Winkel gleich ſind, einander ähnlich ſeyn, und deßhalb wären auch die Winkel FGE, LGE gleich, welches abſurd iſt.

Sind aber die Richtungen der Kräfte P, Q einander parallel, iſt ferner H (Fig. 19) ein Punct von der Eigenſchaft, daß die Glei-

chung P . HI = Q . HK beſteht, ſo geht die Richtung der Reſultirenden genannter Kräfte durch H; denn ginge ſie durch den Punct H′ der IK, ſo wäre auch P . H′I = Q . H′K, mithin HI : H′I = HK : H′K, was ungereimt iſt, weil HI < H′I und zugleich HK > H′K.

131. Mit Hülfe der Zuſammenſetzung der Kräfte läßt ſich leicht erkennen, ob mehrere gegebene Kräfte, die auf einen Punct oder auf ein Syſtem mit einander verbundener Puncte wirken, einander das Gleichgewicht halten. Iſt bloß ein einziger Angriffspunct vorhanden und dieſer völlig frei, d. i. nach allen denkbaren Richtungen beweglich, ſo können die Kräfte nicht im Gleichgewichte ſeyn, wofern nicht die Wirkung jeder einzelnen Kraft durch die Geſammtwirkung aller übrigen getilgt wird. Sondert man daher von den gegebenen Kräften eine ab, und ſucht die Reſultirende der übrigen, ſo muß, damit Gleichgewicht beſtehe, dieſe Reſultirende der erſteren Kraft gleich ſeyn und eine gerade entgegengeſetzte Richtung haben. Iſt aber der gemeinſchaftliche Angriffspunct der Kräfte nicht völlig frei, ſondern kann er bloß auf einer beſtimmten Linie oder Fläche hin und her gleiten, ſo iſt zum Beſtehen des Gleichgewichtes hinreichend, daß die Reſultirende ſämmtlicher Kräfte gegen die Linie oder Fläche normal gerichtet ſey, und falls der Punct bloß auf die Linie oder Fläche gelegt wäre, d. h. dieſe ihm nur einſeitig Widerſtand leiſtet, daß die Reſultirende den Punct gegen die Linie oder Fläche drücke. Unter dieſer Bedingung wird die Action aller Kräfte durch den Widerſtand der dem Angriffspunct vorgeſchriebenen Bahn aufgehoben. Iſt ein Syſtem unveränderlich verbundener Puncte, worauf nach verſchiedenen Richtungen Kräfte wirken, zu betrachten, ſo iſt, wenn der Bewegung der Puncte, ihren Zuſammenhang ausgenommen, kein Hinderniß entgegen ſteht, zum Gleichgewichte ebenfalls erforderlich, daß jede einzelne Kraft durch die Geſammtwirkung der übrigen unwirkſam werde. Es müſſen ſich alſo die übrigen Kräfte auf eine einzige Kraft zuſammenſetzen laſſen (was im Allgemeinen nicht angeht, z. B. zwei Kräfte, deren Richtungen nicht in derſelben Ebene liegen, geben keine Reſultirende), und dieſe Kraft muß der erſteren gleich und entgegen geſetzt ſeyn. Iſt ein Punct dieſes Syſtems unbeweglich, ſo muß durch dieſen die Reſultirende aller Kräfte gehen; ſtützt es ſich auf eine ebene oder gekrümmte Fläche, längs welcher es hingleiten kann, ſo muß die Richtung der Reſultirenden, falls ſich das Syſtem und die Fläche nur an einem Punkte berühren, durch dieſen Punct und zwar normal gegen die Fläche gehen; berühren ſich das Syſtem und die Fläche in zwei Puncten, ſo muß die Richtung der Reſultirenden in die gerade Linie fallen, welche dieſe zwei Puncte verbindet; tritt endlich die Berührung in mehreren, nicht in einer geraden Linie liegenden Punkten ein, ſo darf die erwähnte Richtung die Fläche nicht außerhalb des durch die Berührungspuncte bezeichneten Polygons treffen.

Die Lehre von der Zuſammenſetzung der Kräfte hat ihre Ausbildung erſt im Verlaufe des vorigen Jahrhunderts erhalten. Newton hat in ſeinem unſterblichen Werke Philosophiae naturalis principia mathe-

matica, das 1686 erſchien, die Vortheile angedeutet, welche die Statik daraus ziehen kann, und Varignon hat gleichzeitig die Bearbeitung dieſes Gegenſtandes vorgenommen. Der Satz, daß drei Kräfte, welche auf einen Punct den Seiten eines Dreieckes parallel wirken, und ſich wie dieſe Seiten verhalten, im Gleichgewichte ſtehen (vergl. 125. Anm.), hat ſchon Stevin, ein Holländer, um das Jahr 1600 ausgeſprochen. Die Theorie der Momente der Kräfte rührt von Varignon her.

Zweites Kapitel.

Theorie der Schwere und Gleichgewicht feſter ſchwerer Körper.

132. Unter allen Naturkräften ſpielt keine eine größere Rolle, als die Schwerkraft; deßhalb ſollen auch ihre Geſetze zuerſt aus den allgemeinen Geſetzen der Kräfte überhaupt abgeleitet werden. Bekanntlich gehört dieſe Kraft in die Claſſe der anziehenden Kräfte, und iſt jedem materiellen Theilchen eigen (48). Aus den Geſetzen der Bewegung der Himelskörper hat Newton bewieſen, daß dieſe Kraft von der materiellen Verſchiedenheit der Körper ganz unabhängig iſt, und allein im geraden Verhältniſſe mit der Maſſe ſowohl des anziehenden wie auch des angezogenen Körpers, im verkehrten mit dem Quadrate der Entfernung beider zunimmt. Die Rechtfertigung dieſer Wahrheit kann erſt ſpäter gegeben werden; wir wollen dieſelbe hier einſtweilen als ein Princip adoptiren, und die daraus fließenden Folgerungen betrachten. Iſt P die Kraft, welche die Maſſe M auf die Maſſe m in der Entfernung D ausübt, und eben ſo P′ die Kraft, welche zwiſchen den Maſſen M′ und m′ in der Entfernung D′ herrſcht, ſo hat man dem ſo eben ausgeſprochenen Satze gemäß: $P : P' = \frac{Mm}{D^2} : \frac{M'm'}{D'^2}$. Setzt man hier $M' = 1$, $m' = 1$, $D' = 1$ und $P' = p$, wobei alſo p die Kraft anzeigt, welche zwiſchen zwei Maſſen, deren jede $= 1$ iſt, in der Entfernung 1 beſteht, ſo hat man $P = p \cdot \frac{Mm}{D^2}$. In dieſer Gleichung bedeuten jedoch M und m Maſſen von ſo geringer Ausdehnung, daß es gleichgültig iſt, zwiſchen welchen ihrer Puncte man die Entfernung D mißt; ſie können alſo an und für ſich nur in materiellen Puncten oder Elementartheilchen (Atomen oder Molekeln) enthalten gedacht werden, wenn das Reſultat der Rechnung nach dieſem Ausdrucke ganz ſcharf ſeyn ſoll. Hat daher entweder die anziehende, oder die angezogene Maſſe, oder beide eine angebbare Ausdehnung, ſo muß man die Kraft, womit jeder Punct jeden andern afficirt, mittelſt dieſer Formel ausdrücken und den Totaleffect aller dieſer Kräfte beſtimmen.

133. Es ſey nun HK (Fig. 21) die Erde, A ein außerhalb derſelben befindlicher Punct, deſſen Maſſe $= m$ iſt, und die Anziehung zu finden, welche die Erde gegen denſelben ausübt. Theilen wir dieſe in Gedanken in unendlich kleine Theilchen μ, μ', μ'', ..., deren Maſ-

ſen durch die nämlichen Buchſtaben bezeichnet werden ſollen, ſo erfährt der Punct A von denſelben nach den Richtungen $A\mu$, $A\mu'$, $A\mu''$,... die Anziehungen $p.\frac{\mu.m}{A\mu^2}$, $p.\frac{\mu'.m}{A\mu'^2}$, $p.\frac{\mu''.m}{A\mu''^2}$,... wobei p die obige Bedeutung hat. Die Reſultirende aller dieſer Kräfte gibt die Anziehung an, welche die geſammte Maſſe der Erde gegen den Punct A äußert. Iſt die Linie ACz ringsum ſymmetriſch von der Maſſe der Erde umgeben, ſo fällt die Richtung dieſer Totalkraft in genannte Linie. Dieſer Fall findet Statt, wenn die Erde entweder eine durchaus gleichförmig dichte Kugel iſt, oder wenn ſie wenigſtens in gleichen Abſtänden vom Centrum einerlei Dichte hat, d. h. aus concentriſchen Schichten beſteht, in deren jeder für ſich betrachtet, einerlei Dichte herrſcht. Man kann überdieß noch durch Rechnung zeigen, daß die Anziehung der Erde unter der Vorausſetzung ihrer Kugelform und der genannten Anordnung ihrer Maſſe, welche Vorausſetzungen von der Wahrheit nicht ſtark abweichen und in den meiſten Fällen hinreichend genaue Reſultate gewähren, ſo erfolgt, als wäre ihre ganze Maſſe in ihrem Mittelpunkte vereiniget. Es wird daher jeder materielle Punct A, deſſen Maſſe = m iſt, gegen das Centrum der Erde hingezogen mit einer Kraft, welche durch den Ausdruck $p.\frac{Mm}{D^2}$ bezeichnet wird, worin M die Maſſe der Erde, und D die Entfernung des Punctes A vom Erdmittelpunkte andeutet. Was mit dem Puncte A erfolgt, geſchieht auch mit jedem andern nach Maßgabe ſeiner Maſſe und ſeiner Entfernung von dem Erdmittelpuncte. Betrachtet man alſo die Wirkung der Erde auf einen Körper, d. h. auf ein Aggregat von Puncten; ſo kann man ſich vorſtellen, als würde jeder derſelben mit einer ſeiner Maſſe direct und dem Quadrate ſeines Abſtandes vom Erdmittelpuncte verkehrt proportionalen Kraft nach dieſem Mittelpuncte hingezogen. Die Richtungen, nach welchen dieſe Puncte gezogen werden, convergiren zwar nach dem Centrum der Erde hin, allein wegen der bedeutenden Größe des Erdhalbmeſſers und der geringen Ausdehnung der Körper auf der Erde kann man ohne Fehler annehmen, alle dieſe Kräfte wirken nach parallelen Richtungen, und kann jeden ſchweren Körper als ein Syſtem von Angriffspuncten parallel wirkender Kräfte betrachten. Dieſe Kräfte ſind nur in ſo ferne für alle Puncte gleich groß, als dieſe eine gleiche Entfernung vom Centrum der Erde haben; doch dieſes iſt bei keinem Körper ſtreng genommen der Fall. Für die oberen Puncte iſt dieſe Entfernung ſtets größer als für die unteren, ja ſelbſt für die neben einander in horizontaler Richtung liegenden iſt ſie nicht gleich groß; allein hier kommt uns wieder die geringe Ausdehnung der gewöhnlichen Körper gegen die Größe der Erde gut zu Statten, und erlaubt, alle Puncte eines Körpers von gewöhnlicher Ausdehnung als gleich weit vom Erdmittelpuncte entfernt anzunehmen, und ſich demnach vorzuſtellen, jeder Punct eines Körpers werde von parallelen und gleichen Kräften gegen das Centrum der Erde hingezogen. Die Reſultirende aller dieſer Kräfte an einem Körper ſtellt deſſen Ge-

wicht vor. Hieraus iſt leicht zu entnehmen, daß alle gleich weit von dem Centrum der Erde entfernten Körper gleich ſchwer ſind, und daß die weiter davon entfernten leichter ſind, als die näheren. Befindet ſich ein Körper innerhalb der Erde, ſo wirken einige Theile derſelben einwärts, andere auswärts ziehend. Dadurch wird das vorhin aufgeſtellte Geſetz der Schwere geändert, und es wächſt dieſelbe nicht mehr im verkehrten quadratiſchen, ſondern im directen einfachen Verhältniſſe der Entfernung vom Mittelpuncte. Eigentlich ſollte man bei einer genauen Erwägung der Wirkungen der Schwerkraft dieſelben als das Reſultat einer gegenſeitigen Anziehung zwiſchen der Erde und den Körpern auf ihr anſehen, vermöge welcher die Erde eben ſo zu einem über ihr befindlichen Körper hin, als dieſer zur Erde hinab gezogen wird; allein auch dieſes erläßt uns die unbedeutende Größe der beweglichen Theile der Erde gegen ihre ganze Maſſe, und man kann, ohne einen Fehler befürchten zu dürfen, von der Wechſelſeitigkeit der Anziehung ganz abſehen.

134. Aus der Lehre von der Zuſammenſetzung paralleler Kräfte (127) erhellet, daß ſich in der Richtung ihrer Reſultirenden ſtets ein Punct befindet, durch den dieſelbe fortwährend hindurchgeht, wenn ſich die Richtungen ſämmtlicher Kräfte ohne Störung des Parallelismus um ihre Angriffspuncte drehen, welcher allen möglichen Richtungen der Reſultirenden gemeinſchaftliche Punct der Mittelpunct der parallelen Kräfte genannt wird. Offenbar iſt es aber einerlei, ob man die Richtungen der Kräfte um die Angriffspuncte ſich drehen läßt, oder ob dieſe Richtungen ungeändert bleiben und das Syſtem der Angriffspunete ohne Störung ihrer relativen Lage gedreht wird. Auch in dieſem Falle wird ſich der Mittelpunct als unveränderlicher Punct der Richtung der Reſultirenden kund geben. Letztere Betrachtungsweiſe iſt auf die Schwere anwendbar, in ſo fern der von ihr afficirte Körper ein feſter iſt, deſſen Theile ſtets dieſelbe relative Lage beibehalten. Man nennt den Mittelpunct der Schwerkräfte, die einen Körper beherrſchen, deſſen Schwerpunct. Obgleich die Möglichkeit der Zuſammenſetzung der Schwerkräfte, wie der auf verſchiedene Puncte wirkenden Kräfte überhaupt, durch den zwiſchen ihren Angriffspuncten obwaltenden feſten Zuſammenhang bedingt wird, ſo läßt ſich doch auch von dem Schwerpuncte eines Körpers oder eines Syſtems von Körpern ſprechen, deſſen Theile gar nicht in unveränderlicher Verbindung ſtehen. Man nimmt hier den Schwerpunct, deſſen Poſition lediglich durch die Anordnung der Angriffspuncte und durch die auf ſie wirkenden Schwerkräfte beſtimmt wird, ſo wie er ſich unter Vorausſetzung ergeben würde, daß man es mit einem unveränderlichen Inbegriff materieller Puncte zu thun habe. So iſt insbeſondere die Sache zu nehmen, wenn es ſich um den Schwerpunct eines biegſamen oder flüſſigen Körpers bei irgend einer Anordnung ſeiner Theile handelt.

Da die Schwerkräfte, welche den Theilen eines Körpers entſprechen, den Maſſen dieſer Theile proportionirt ſind, ſo kann man noch weiter gehen und den Schwerpunct eines Syſtems materieller Puncte betrach-

ten, das in dem hier Statt findenden Sinne gar nicht ſchwer gedacht wird, z. B. den Schwerpunct des Syſtems gewiſſer Himmelskörper, oder bloß träger Maſſen u. dgl. Doch ſagt man in dieſem Falle lieber Mittelpunct der Maſſen. Man kann denſelben unabhängig von jeder Betrachtung von Kräften dadurch definiren, daß man feſtſetzt der Mittelpunct zweier Maſſen, die man in Puncten concentrirt denkt, liege in der Verbindungslinie derſelben, und theile dieſe Linie im verkehrten Verhältniſſe der Maſſen; ferner daß der ſo eben erhaltene Mittelpunct mit der Summe der Maſſen begabt, als Stellvertreter der beiden Puncte betrachtet und eben ſo mit einem dritten Puncte combinirt werde u. ſ. w.

135. Da der Charakter des Schwerpunctes darin beſteht, daß die Geſammtwirkung ſämmtlicher Kräfte, welche die Erde gegen einen Körper ausübt, bei jeder Lage durch dieſen Punct hindurch geht, ſo kann man ſich vorſtellen, daß das Gewicht des Körpers bloß in dem Schwerpuncte hafte, alle übrigen Puncte des Körpers aber ſchwerlos ſeyen. Dieſer Kunſtgriff erleichtert die Unterſuchung des Gleichgewichts ſchwerer Körper ungemein. Man ſieht hieraus ſogleich, daß ſobald nur der Schwerpunct eines feſten Körpers gehindert wird, ſich abwärts zu bewegen, auch der Körper ſelbſt vor dem Fallen geſichert ſey. Dieß findet Statt, wenn der Körper entweder an einem Puncte in der Verticallinie, die durch den Schwerpunct geht (man nennt ſie die Directionslinie des Körpers), von unten unterſtützt iſt, oder an einem Faden hängt, deſſen Richtung mit der Directionslinie übereinſtimmt. Eben ſo iſt der Körper im Gleichgewichte, wenn er an zwei Puncten gehalten wird, die mit dem Schwerpuncte in einerlei Verticalebene liegen, oder wenn der Körper in den Eckpuncten eines Dreieckes auf einer Unterlage liegt, und zugleich ſeine Directionslinie den Flächenraum dieſes Dreieckes trifft u. dgl. In dem beſonderen Falle, wenn der Schwerpunct ſelbſt unmittelbar gehalten wird, der Körper aber um denſelben frei gedreht werden kann, befindet ſich der Körper in jeder Lage im Gleichgewichte, denn die Reſultirende aller Schwerkräfte wird ſtets durch den Widerſtand des feſten Punctes aufgehoben. Doch iſt hiebei nicht zu vergeſſen, daß, wenn der Schwerpunct des Körpers ſeinen Platz außerhalb der Maſſe deſſelben hat, wie z. B. bei einem Ringe, dieſer Punct vorerſt mit dem Körper in eine feſte Verbindung gebracht werden muß.

136. Man beſtimmt den Schwerpunct durch Verſuche und durch Rechnung. Hängt ein Körper ruhig an einem biegſamen Faden, ſo liegt ſein Schwerpunct offenbar in deſſen Verlängerung. Wird ein Körper hinter einander an zwei verſchiedenen, einander nicht gerade entgegengeſetzten Stellen an einem Faden befeſtiget aufgehängt, und in beiden Lagen die Richtung des verlängerten Fadens an ihm angemerkt; ſo iſt der Durchſchnittspunet dieſer beiden Richtungen der Schwerpunct des Körpers. Bei Körpern von gleichförmiger Dichte, die einen Mittelpunct der Symmetrie haben, muß der Schwerpunct in dieſem liegen; bei ungleichförmig dichten mehr gegen die dichteren Theile zu. Auf dieſe Weiſe wird meiſtens der Schwerpunct beſtimmt; man zieht ſie

oft ſogar der Rechnung vor, weil dieſe eine Gleichheit der Dichte an Körpern vorausſetzt, welche in der Erfahrung ſelten Statt findet, und auch Kenntniſſe der Integralrechnung fordert. Indeſſen gibt es auch Elementarmethoden für einzelne Fälle.

Der Schwerpunct eines Dreieckes iſt eigentlich der aller ſchweren in ihm enthaltenen Puncte. Jeder Punct liegt aber in einer geraden Linie, welche mit einer der Seiten des Dreieckes parallel gezogen iſt, und alle in einer ſolchen Linie befindlichen Puncte haben ihren Schwerpunct in der Mitte dieſer Linie. Alle Halbirungspuncte der mit einer Dreieckſeite parallelen Linien liegen wieder für ſich in einer geraden Linie. Zieht man daher im Dreiecke A B C (Fig. 22) A D und B E, ſo daß B D = D C und A E = E C iſt; ſo muß der Schwerpunct des Dreieckes ſowohl in A D als in B E, mithin in ihrem Durchſchnittspuncte F liegen. — Zur näheren Beſtimmung dieſes Punctes ziehe man E D, und man hat wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke A F B mit E F D und E C D mit A C B

$AF : FD = AB : ED$, $AB : ED = AC : EC = 2 : 1$, mithin
$AF : FD = 2 : 1$ oder $AF : AD = 2 : 3$, d. i. $AF = \frac{2}{3} AD$.

Auf ähnliche Weiſe findet man den Schwerpunct einer dreiſeitigen Pyramide. Durch jeden Punct derſelben läßt ſich eine Ebene legen, die mit einer beliebigen der vier Grenzflächen der Pyramide parallel iſt, und letztere in einem Dreiecke ſchneidet. Der Schwerpunct eines jeden dieſer Dreiecke läßt ſich nach obiger Methode finden, und die Schwerpuncte aller parallelen Dreiecke liegen in einer geraden Linie. Iſt daher in der Pyramide (Fig. 23) $AE = EC$ und $FB = \frac{2}{3} EB$, ſo liegt der Schwerpunct der ganzen Pyramide in D F. Aus demſelben Grunde liegt der Schwerpunct der Pyramide in B G, wenn $DG = \frac{2}{3} DE$ iſt, daher im Durchſchnitte H beider Linien. — Man ziehe G F, ſo hat man, wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke G H F, D H B, dann der Dreiecke E G F, E D B; $DH : HF = DB : GF$, $DB : GF = DE : EG = 3 : 1$, mithin $DH : HF = 3 : 1$ und $DH : DF = 3 : 4$ oder $DH = \frac{3}{4} DF$.

137. Nicht jeder Körper, der durch Unterſtützung ſeines Schwerpunctes gegen das Fallen geſchützt iſt, hat bei jeder Art der Unterſtützung und unter allen Umſtänden einen gleich ſichern Stand. Iſt die Lage eines Körpers ſo beſchaffen, daß ſein Schwerpunct tiefer liegt, als bei jeder anderen, in die er durch ſehr geringe Verrückung verſetzt werden kann; ſo wird er ſelbſt dann, wenn ihn eine Kraft bis zu einer gewiſſen Grenze aus dieſer Lage bringt, wieder dahin zurückkehren. Man ſagt, er ſey im **ſtabilen** Gleichgewichte. Hat ſein Schwerpunct einen höheren Stand, als er durch eine geringe Neigung erlangt, ſo kehrt er in dieſe ſeine Lage nicht mehr zurück, ſobald man ihn durch eine auch noch ſo kleine Verrückung daraus bringt, und dann heißt es, er ſey im **labilen** Gleichgewichte. Ein Körper, der im oberen Theile ſeiner Maſſe unterſtützt iſt, wie z. B. ein an einem Faden hängender Körper, hat ſtets ein ſtabiles Gleichgewicht; ein von unten an einem Puncte unterſtützter Körper kann in ſtabilem oder labilem Gleichgewichte ſeyn. Man denke ſich z. B. einen von einer krummen Fläche begrenzten Körper, z. B. ein Ei. Liegt dieſes ſo auf einem Tiſche, daß ſeine größere Axe horizontal iſt, ſo hat es eine ſtabile, wenn aber dieſe Axe vertical ſteht, eine labile Lage. Ein von unten unterſtützter Körper, der ſeine Unterlage in wenigſtens drei Puncten

berührt, die nicht in einer Geraden liegen, und zwiſchen welche ſeine Directionslinie fällt, iſt ſtets im ſtabilen Gleichgewichte oder hat Stabilität. Bringt man einen ſtabilen Körper mehr und mehr aus ſeiner Lage, ſo gelangt er endlich in eine andere Gleichgewichtslage, die aber labil iſt; durch fortgeſetztes Neigen kommt er wieder in eine ſtabile Lage, und ſo folgt ſtets auf einen ſtabilen ein labiler Stand, in welchem er im Gleichgewichte ſteht, in jeder Zwiſchenlage muß er aber fallen. Man kann ſich dieſes leicht durch einen Würfel verſinnlichen, den man um eine horizontale Axe ſo dreht, daß er abwechſelnd auf eine Seitenfläche und auf eine Kante zu ſtehen kommt. Es gibt jedoch Fälle, wo weder von Stabilität noch von eigentlicher Labilität die Rede ſeyn kann, z. B. bei einer gleichförmig dichten, auf einer horizontalen Ebene ruhenden Kugel, die in allen möglichen Lagen im Gleichgewichte iſt.

Die balancirenden Figuren ſcheinen in labilem Gleichgewichte zu ſeyn, während ſie ſich in der That in ſtabilem befinden; die Kunſt des Seiltanzens beſteht darin, ſich in labilem Gleichgewichte zu erhalten. Die Lehre vom Schwerpuncte findet ihre Anwendung bei der Betrachtung der Haltung des Körpers beim Stehen, Gehen, Sitzen, Aufſtehen, Laſttragen; auf ihr beruht die Sicherheit der ſchiefen Thürme zu Piſa und Bologna, die Einrichtung mehrerer Spielwerke, als des chineſiſchen Purzelmannes u. dgl.

138. Um einen Körper, der auf einer Grundlage ſtabil ruht, aus ſeiner Lage zu bringen, iſt eine Kraft nöthig, deren Größe eine gewiſſe Grenze überſchreitet. In der That ſey G (Fig. 24) der Schwerpunct eines Körpers; AB der Durchſchnitt ſeiner horizontalen Grundfläche mit einer Verticalebene, die den Punct G in ſich enthält und auf der Kante bei A ſenkrecht ſteht; CD die in derſelben Verticalebene angenommene Richtung einer horizontal wirkenden, der Größe nach noch unbeſtimmten Kraft P, welche den Körper um die Kante A zu drehen ſtrebt. Man ziehe durch G und A die Verticalen EF, AH, welche mit CD und AB das Rechteck AEFH begrenzen. Das Gewicht des Körpers, welches wir durch Q vorſtellen, kann als eine in G nach der Richtung GE angebrachte Kraft betrachtet werden, die man ſammt der Kraft P auf den Punct F verſetzen kann. Wählt man nun die Größe der Kraft P dergeſtalt, daß die Proportion $P:Q = FH:FE$ Statt findet, mithin $P = Q.\frac{FH}{FE} = Q.\frac{AE}{FE}$ iſt, ſo hat die Reſultirende der Kräfte P und Q die Richtung FA; wird aber $P < Q.\frac{AE}{FE}$ angenommen, ſo trifft die Richtung dieſer Reſultirenden mit AB in einem Puncte zwiſchen A und E zuſammen, und wenn $P > Q.\frac{AE}{FE}$ iſt, in einem Puncte außerhalb der AB, von B gegen A hin geſehen. In dem letzten Falle allein wird der Körper durch die Kraft P um die Kante A gedreht werden, in den übrigen Fällen bleibt er in Ruhe, nur iſt die Richtung der Totalkraft, die der Körper gegen

ſeine Grundfläche ausübt, ſchief. Die Größe $Q \cdot \frac{AE}{FE}$, welche die Kraft P überſchreiten muß, um die Drehung zu bewirken, kann man als das Maß der Standfähigkeit des Körpers für die gewählte Richtung der drehenden Kraft betrachten. In ſo fern einerlei Höhe des Angriffspunctes letzterer Kraft über der horizontalen Baſis des Körpers Statt findet, alſo FE ſich nicht ändert, ſteht die Stabilität in geradem Verhältniſſe mit Q und AE, d. h. ſie iſt um ſo größer, je mehr das Gewicht des Körpers beträgt, und je weiter die Kante, um welche der Körper gedreht werden ſoll, von der Directionslinie entfernt iſt. Bei einem und demſelben Körper wird ſich aber die Stabilität um ſo größer zeigen, je kleiner FE iſt, d. h. je niedriger der Angriffspunct der drehenden Kraft liegt.

Nach dieſem Geſetze wird die Standfähigkeit der Mauern, Möbel, belaſteter Wägen, ſelbſt der mehr oder weniger feſte Stand eines Menſchen beurtheilt.

Die Eigenſchaften des Schwerpunctes ſcheint Archimedes, unſtreitig der größte Geometer des Alterthums (geſt. im J. 212 v. Chr.), entdeckt zu haben. Er leitete ſie aus dem Geſetze des Hebels ab, von dem im folgenden Kapitel die Rede iſt.

Drittes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an Maſchinen.

139. Maſchine heißt jede Vorrichtung, mittelſt welcher eine Kraft auf einen außer ihrer Richtung liegenden Punct wirkt. Gewöhnlich iſt damit auch eine Aenderung in der Größe der Wirkſamkeit dieſer Kraft verbunden. Es liegt in der Natur der Sache, daß der Bewegung des Punctes, worauf die Kraft mittelſt der Maſchine wirken ſoll, ein Hinderniß entgegenſtehe, weil ſonſt kein Grund vorhanden wäre, die Maſchine anzuwenden. Dieſes Hinderniß läßt ſich ſtets als eine Gegenkraft betrachten, welche in Bezug auf erſtere, die hier vorzugsweiſe Kraft heißt, die Laſt genannt wird. Es kommen daher bei jeder Maſchine wenigſtens dieſe zwei Kräfte in Betrachtung. Um die Vermittlung der Maſchine zwiſchen der Kraft und Laſt einzuſehen, denke man ſich die Kraft ſo gewählt, daß ſie der Laſt das Gleichgewicht hält. Das Verhältniß, in welchem die Größe der Kraft zu jener der Laſt hiebei ſteht, heißt das ſtatiſche Verhältniß. Aus dem Begriffe einer Maſchine geht hervor, daß die Richtungen der Kraft und Laſt einander nicht gerade entgegengeſetzt ſind; ſoll nun zwiſchen beiden Kräften Gleichgewicht herrſchen, ſo müſſen ſich dieſelben auf andere Kräfte reduciren laſſen, welche dadurch unwirkſam gemacht werden, daß ihre Richtungen durch unbewegliche Puncte gehen. Eine Maſchine muß demnach derlei Puncte enthalten. Sie heißen Unterſtützungspuncte. Eine Maſchine, wovon kein Beſtandtheil ſelbſt wieder eine Maſchine iſt, heißt einfach, widrigenfalls zuſammengeſetzt.

140. Um die einfachen Maſchinen auf einen Grundtypus zurückzuführen, laſſen wir die Richtungen der Kraft und Laſt in dieſelbe Ebene fallen. Dieſe Kräfte werden hier eine in in derſelben Ebene wirkende Reſultirende erzeugen, zu deren Vernichtung die Maſchine in der Richtung letzterer Kraft einen fixen Punct enthalten muß. Iſt nun (Fig. 16) A der Angriffspunct der längs Ax wirkenden Kraft P, B jener der nach By gerichteten Laſt Q, und G der fixe Punct, ſo geht, im Falle des Gleichgewichtes, die Richtung der Reſultirenden R durch G, und die Größe derſelben beſtimmt zugleich den Druck, den G nach dieſer Richtung auszuhalten hat. Aus 125 iſt bekannt, daß, wenn aus G auf Ax und By die Senkrechten GH und GK fallen, und H mit K durch eine Gerade verbunden wird, die Proportion

$$P : Q : R = GK : GH : HK$$

Statt findet, welche daher nicht bloß das ſtatiſche Verhältniß der Kraft und Laſt, ſondern auch jenes des vom Unterſtützungspuncte zu leiſtenden Widerſtandes zu beiden Kräften anzeigt. Uebrigens iſt klar, daß der fixe Punct nicht geradezu ein einzelner Punct zu ſeyn braucht, ſondern irgend ein Punct einer feſten Fläche ſeyn kann, gegen welche die Reſultirende der Kraft und Laſt normal wirkt (131). Hiernach zerfallen die einfachen Maſchinen in zwei Abtheilungen. Zur erſten Abtheilung gehören jene, bei welchen die Unterſtützung durch einen Punct gegeben iſt. Dieſe ſind die Stangen- oder Seilmaſchine, der Hebel, das Wellrad und die Rolle. Die zweite Abtheilung hingegen umfaßt die Maſchinen, bei denen die Aufhebung der Reſultirenden durch eine Fläche bewirkt wird. Sie ſind die geneigte Ebene (oder allgemeiner eine beliebige krumme Fläche) die Schraube und der Keil.

141. Die Stangen- (oder Seil-) Maſchine beſteht aus drei Stangen, AO, BO, CO [Fig. 25] (Stricken, Schnüren, Ketten u. dgl.), welche in einem Puncte O, um welchen ſie ſich frei bewegen können, mit einander verbunden ſind; an dem Ende A der einen, längs ihrer Richtung AO oder OA, wirkt die Kraft P, an dem Ende B der zweiten längs BO oder OB die Laſt Q, und das Ende C der dritten iſt dergeſtalt befeſtigt, daß ſich dieſelbe um den fixen Punct C drehen kann. Im Zuſtande des Gleichgewichtes muß offenbar die Richtung der Reſultirenden der Kräfte P und Q in die Gerade OC fallen. Es findet demnach das in 140 Geſagte hier ſeine volle Anwendung. Zieht man nämlich von C (oder von irgend einem anderen Puncte der CO, O ausgenommen) auf AO, BO die Senkrechten CH, CK, ſo iſt

$$P : Q = CK : CH.$$

Hierauf beruht auch die Wirkſamkeit der ſogenannten Kniepreſſe. (S. Baumgartner's Mechanik. Wien 1834. S. 20. Fig. 13. Fechner in Pogg. Ann. 41. 501. Vergl. 42. 350.)

Nach dem in der Anmerkung zu 125 Geſagten iſt leicht einzuſehen, daß, wenn man die Kraft, welche C auszuhalten hat, R nennt, die Proportion $P : Q : R = \sin BOC : \sin AOC : \sin AOB$ Statt findet.

142. Ein **Hebel** iſt eine unbiegſame Stange oder Linie ACB (Fig. 26 a und b), die um einen Punct C (Unterſtützungspunct) beweglich iſt, außer welchem die Kraft P und die Laſt Q angebracht ſind. AC und BC heißen die **Hebelarme**. Wird dieſe Stange ſchwerlos gedacht, ſo heißt der Hebel ein **mathematiſcher**, iſt ſie ſchwer, ein **phyſiſcher** Hebel; liegen A, C, B in einer geraden Linie, ſo iſt der Hebel ein **geradliniger**, ſonſt ein **Winkelhebel**. Liegt der Unterſtützungspunct zwiſchen den Angriffspuncten der Kraft und Laſt, ſo heißt der Hebel **zweiarmig**, widrigenfalls **einarmig**. Iſt AB ein **mathematiſcher** Hebel, er mag nun ein- oder zweiarmig, geradlinig oder ein Winkelhebel ſeyn; ſo ſtehen die Kräfte P und Q im Gleichgewichte, wenn ſie ſich verkehrt verhalten, wie die Senkrechten CD und CE, welche vom Unterſtützungspuncte auf die Richtungen der Kräfte gezogen ſind, oder wenn die Momente der Kraft und Laſt in Beziehung auf den Unterſtützungspunct einander gleich ſind; denn bei dieſem Verhältniſſe der Kräfte zu einander geht die Reſultirende von P und Q durch den Unterſtützungspunct C (140), und es kann keine Bewegung erfolgen. — Man kann dieſen Satz auch umkehren und ſagen: Sobald am Hebel AB Gleichgewicht herrſcht, muß obige Proportion Statt finden. Denn es wird erſteres offenbar nur dann ſeyn können, wenn die Reſultirende der Kräfte P und Q durch den Unterſtützungspunct geht; dieſes ereignet ſich aber nur, wenn $P . CD = Q . CE$, oder wenn $P : Q = CE : CD$ iſt. Wirken die Kräfte P und Q parallel auf einen geradlinigen Hebel, ſo ſtehen ſie im Gleichgewichte, wenn ſie ſich verkehrt, wie die Hebelarme verhalten.

Dieſen Satz hat zuerſt **Archimedes** auf eine höchſt ſinnreiche aber minder ſtrenge Weiſe bewieſen.

143. Der **phyſiſche Hebel** kann in einen mathematiſchen verwandelt werden, wenn man ſein ganzes Gewicht in ſeinem Schwerpunct vereint annimmt, und ihn dann als ſchwerlos behandelt. Für den Stand des Gleichgewichtes muß das Moment dieſes Gewichtes in Beziehung auf den Unterſtützungspunct zu dem Momente der Kraft addirt werden, wenn der Schwerpunct auf die Seite der Kraft fällt und dieſe abwärts wirkt, oder wenn der Schwerpunkt auf die Seite der Laſt fällt und dieſe aufwärts wirkt; in den übrigen Fällen muß gedachtes Moment zu jenem der Laſt addirt werden. Hievon überzeugt man ſich ſogleich, wenn man eine der Kräfte am Hebel in zwei Theile zerlegt, wovon der eine der anderen Kraft, der zweite aber dem im Schwerpuncte des Hebels vereinigten Gewichte deſſelben das Gleichgewicht hält.

144. Der Hebel iſt ſchon deßhalb ſehr wichtig, weil er in ſehr vielen Vorrichtungen zum Behufe der Gewerbe und Künſte Anwendung findet, wie z. B. in den Brecheiſen, Schaufeln, Zangen, Scheren, Hebladen, Hammerwerken, Rudern u. ſ. w.; für den Phyſiker wird er es nebſt anderen beſonders dadurch, daß darauf eines ſeiner wichtigſten Inſtrumente, die **Wage** beruht. Man unterſcheidet zwei Gattungen Wagen, nämlich die **gemeine Wage** und die **Schnell-**

wage. Für die Phyſik iſt die erſtere beſonders wichtig. Die *gemeine Wage* (Fig. 27) beſteht, wie bekannt, aus dem *Wagebalken*, der *Schere*, der *Zunge* und aus den *Schalen*. Der Wagebalken liegt mittelſt eines in der Mitte deſſelben zu beiden Seiten hervorragenden, nach unten in eine Schneide ſich endigenden Zapfens auf den *Lagern* (Pfannen) der Schere. Dieſe Schneide iſt die *Drehungsaxe* des Balkens. Auf ähnliche Weiſe ſind die Wagſchalen an dem Balken aufgehängt.

Der Wagebalken ſoll, wie immer innerhalb der Grenzen ſeines Tragvermögens belaſtet, eine ſtabile Gleichgewichtslage annehmen, und zwar eine horizontale bei gleicher, eine geneigte bei ungleicher Belaſtung der Schalen, und in letzterem Falle ſoll die Abweichung von der horizontalen Lage, der *Ausſchlag*, um ſo größer werden, je größer der Unterſchied der Laſten iſt, die in beiden Schalen liegen. Die Stabilität des Balkens ohne Schalen erheiſcht, daß ſein Schwerpunct tiefer liege als die Drehungsaxe; die Stabilität des Balkens mit belaſteten Schalen, daß die Drehungsaxe über der Verbindungslinie der Aufhängepuncte der Schalen, welche Linie die *Längenaxe* des Balkens heißen mag, ſich befinde. Zur horizontalen Ruhelage des unbelaſteten Balkens iſt erforderlich, daß die Verbindungslinie der Drehungsaxe mit ſeinem Schwerpunct die Längenaxe ſenkrecht durchſchneide: ſoll die horizontale Lage des Balkens überdieß noch bei belaſteten Schalen Statt finden, ſo muß der Durchſchnittspunct vorgenannter Linien zugleich der Halbirungspunct der Längenaxe ſeyn. Dieſer Halbirungspunct heißt der *Mittelpunct* des Wagebalkens. In dieſer Anordnung des Mittelpunctes beſteht die *Gleicharmigkeit* des Wagebalkens; die *Zunge* des Wagebalkens iſt hiebei die Vereinigung der Geraden, welche durch die Drehungsaxe, den Mittelpunct und durch den Schwerpunct des Wagebalkens geht. Je kleiner der Abſtand des Mittelpunctes wie auch des Schwerpunctes von der Drehnngsaxe in Vergleichung mit der Länge des Wagebalkens, und je geringer das Gewicht des Wagebalkens und der Belaſtung iſt, ein deſto geringerer Unterſchied in der Belaſtung beider Schalen reicht hin, einen beſtimmten *Ausſchlagwinkel* hervorzubringen, und deſto *empfindlicher* iſt daher die Wage. Man ſchätzt die Empfindlichkeit einer Wage nach dem aliquoten Theile der größten, ihrem Tragvermögen angemeſſenen Belaſtung, den ſie noch anzuzeigen vermag.

Es ſey (Fig. 28) AB die Längenaxe des Wagebalkens in einer durch ungleiche Belaſtung der Wagſchalen hervorgebrachten ſchiefen Gleichgewichtslage, C der Mittelpunct, G der Schwerpunct, E die Drehungsaxe, alſo Gx die Richtung der Zunge und der Winkel xEy, den dieſe mit der Verticallinie Ey macht, der Ausſchlag. Das Gewicht des Wagebalkens ſey Q; jede Schale habe das Gewicht S und ſey mit dem Gewichte P belaſtet, überdieß aber ſey in die Schale A das Gewicht p zugelegt. Man kann das Gewicht des Wagebalkens in ſeinem Schwerpuncte, und die gleichen Gewichte der Schalen und Belaſtungen in dem Mittelpuncte concentrirt denken, daher wird die Gleichgewichtslage des Wagebalkens durch die drei Kräfte p, $2(S+P)$ und Q her-

vorgebracht, die in den Puncten A, C, G nach den verticalen Richtungen A u, C z, G w wirken. Das Gewicht p läßt ſich aus zwei Theilen p′ und p″ zuſammengeſetzt betrachten, wovon der erſte der Kraft in C, der zweite der Kraft in G das Gleichgewicht hält. Zieht man nun durch den Unterſtützungspunct E eine Horizontallinie, welche den vorgenannten Verticalen in a, c, g begegnet, ſo hat man nach dem Geſetze des Hebels, $p' . Ea = 2 (S + P) . Ec$ und $p'' . Ea = Q . Eg$, mithin durch Addition $(p' + p'') Ea = 2 (S + P) Ec + Q . Eg$, oder

$$p (ac - Ec) = 2 (S + P) Ec + Q . Eg.$$

Dieſe Gleichung zeigt, daß wenn unter den Größen a c, E c, E g, S + P, Q alle bis auf eine ungeändert bleiben, zur Verringerung von p nothwendig entweder a c vergrößert, oder eine der übrigen vier Größen verringert werden muß. Bleibt der Ausſchlagwinkel derſelbe, ſo ändern ſich A c, E c, E g in demſelben Verhältniſſe, wie A C, E C, E G; es wird alſo zur Hervorbringung von einerlei Ausſchlagwinkel ein kleineres p genügen, wenn entweder A C wächſt oder E C, E G, S + P, Q abnehmen, wodurch die oben ausgeſprochene Behauptung gerechtfertigt iſt. Eine gute Wage ſoll wenigſtens $\frac{1}{60000}$ des Maximums der Belaſtung anzeigen. Ramdens berühmte Wage gab bei einer Belaſtung von 10 Pfd. noch 0,006 Gr., alſo den 12millionſten Theil der Belaſtung an. Fortins Wagen zeigen bei 4 Pfd. Belaſtung noch $\frac{1}{50}$ Gran, mithin $\frac{1}{1536000}$ der Laſt. Die Wagen, welche Florenz in Wien verfertigt, geben bei einer Belaſtung von 4½ Pfd. noch mit ⅛ Richtpfennig, alſo mit $\frac{1}{4707864}$ einen ſehr deutlichen Ausſchlag.

145. Obgleich es ſehr leicht iſt, die Bedingungen anzugeben, von denen die Genauigkeit einer Wage abhängt, ſo darf man in der Ausübung doch nicht hoffen, denſelben in aller Schärfe zu entſprechen, ja ſelbſt wenn ſie wirklich ſtreng erfüllt werden könnten, ſo würden ſie dennoch durch die kleinſte Ungleichheit in der Temperatur des Wagbalkens oder in der Vertheilung einiger auf demſelben liegenden Stäubchen wieder verletzt. Demnach ſind die beſten Wagen, genau genommen, doch noch falſche Wagen, aber die Fehler ſind ſo klein, daß man ſie in vielen Fällen ganz vernachläßigen kann. Glücklicher Weiſe läßt ſich nicht nur allein die Falſchheit einer Wage ſehr leicht erkennen, ſondern man findet, wenn man den in 50 allgemein vorgezeichneten Weg einſchlägt, ſelbſt mit einer falſchen Wage das Gewicht eines Körpers richtig, und wird daher bei ſubtilen Unterſuchungen, wenn man auch mit den beſten Wagen zu thun hat, ſtets nur das am angeführten Orte gewieſene Verfahren befolgen. Die Richtigkeit einer Wage wird dadurch geprüft, daß man, nachdem man an derſelben zwei Laſten in das Gleichgewicht geſetzt hat, dieſe unter einander verwechſelt. Aendert ſich hiebei die Ruhelage des Wagebalkens, ſo iſt die Wage unrichtig. Um mit einer ſolchen Wage dennoch richtig zu wägen, legt man den abzuwägenden Körper A in eine Schale, und ſo viel Tara in die andere, als nöthig iſt, um das Gleichgewicht herzuſtellen, nimmt hierauf A heraus, ſetzt dafür Gewichte P, ſo daß das Gleichgewicht fortbeſteht. Hier muß P = A ſeyn, wenn zwiſchen den Zapfen und Pfannen keine Reibung Statt findet. Da aber dieſe Reibung immer vorhanden iſt, ſo muß man ihren Einfluß dadurch unſchädlich machen, daß man denſelben bei beiden Abwägungen von derſelben Größe zu erhalten ſucht.

Dieſes wird dadurch bewirkt, daß man den Wagebalken, ſobald A mit der Tara ins Gleichgewicht gekommen iſt, in der Lage ſeiner Ruhe unterſtützt, erſt hierauf A wegnimmt, durch Gewichte erſetzt, denen nicht viel von A fehlt, und dann erſt den Balken frei läßt.

Doch erhält man auch bei der pünctlichen Befolgung dieſer Vorſchrift nur das *ſcheinbare* Gewicht des Körpers in der Luft, und muß erſt daraus das *wahre* im leeren Raume ableiten, worüber die Folge Aufſchluß geben wird. (Ueber Berechnung der bei Wägungen vorkommenden Reductionen von *Schumacher*. Hamburg 1838.)

146. Die *Schnellwage* (Fig. 29) hat einen Balken mit ungleichen Armen. An einem beſtimmten Puncte des kürzern Armes wird der abzuwägende Körper A angebracht und am längern ein beſtimmtes Gewicht P (der Laufer) ſo lange hin oder her geſchoben, bis es mit A bei horizontaler Lage des Wagebalkens im Gleichgewichte ſteht. Hält der unbelaſtete Balken in der horizontalen Lage aus, ſo heißt die Wage eine *mathematiſche* Schnellwage. An derſelben iſt die Verbindungslinie der Drehungsaxe mit dem Schwerpuncte des Wagebalkens auf ſeiner Längenaxe ſenkrecht. Der Durchſchnittspunct beider kann, als Mittelpunct der Kräfte, auch hier *Mittelpunct* des Balkens heißen, obgleich er denſelben nicht halbirt. Iſt die Entfernung des Körpers von dem Mittelpuncte $= a$, die des Laufers $= b$, ſo iſt offenbar $Aa = Pb$ oder $A = P . \frac{b}{a}$, und für $a = 1$, $A = Pb$. Man kann daher a auf den längern Arm ſo oft übertragen, als es angeht, und durch Multiplication des Laufergewichtes mit der Anzahl Theilſtriche, die zwiſchen den Laufer und die Axe fallen, das Gewicht von A beſtimmen. Die Empfindlichkeit der Wage hängt hier von ähnlichen Umſtänden ab, wie die der gleicharmigen Wage. Bleibt aber der Balken unbelaſtet nicht in der horizontalen Lage in Ruhe, d. h. iſt die Wage eine *phyſiſche* Schnellwage, ſo kann obige Gleichung nicht gelten, und man beſtimmt die Puncte des längeren Armes, an welchem P mit einer gewiſſen Laſt im Gleichgewichte ſteht, beſſer durch Erfahrung.

147. Das *Wellrad* ſtellt Fig. 30 vor. Es iſt ein um ſeine Axe beweglicher Cylinder mit einem Rade, deſſen Axe mit jener des Cylinders zuſammenfällt, und zugleich auf der Ebene des Rades ſenkrecht ſteht. Die Kraft wirkt am Umfange des Rades, die Laſt am Umfange des Cylinders. Denkt man ſich die Laſt in die Ebene des Rades verſetzt, ſo wird dadurch am Erfolge der Kraft nichts geändert, weil Welle und Rad mit einander unveränderlich verbunden ſind, und dann ſtellt Fig. 31 einen Querſchnitt dieſer Maſchine vor, aus dem erſichtlich wird, daß ſie auf einen Hebel zurückgeführt werden kann, deſſen Ruhepunct C in der Axe des Rades liegt, während in A die Laſt Q, in B die Kraft P wirkt. Obgleich man alſo das Wellrad als eine beſondere einfache Maſchine anzuſehen pflegt, ſo iſt es doch nur eine ſo oftmalige Wiederholung deſſelben Hebels, als ſich Rad- und Wellenhalbmeſſer denken laſſen. Man hat daher für den Zuſtand des Gleichgewichtes $P : Q = AC : BC$, d. i. die Kraft verhält ſich zur

Laſt, wie der Halbmeſſer des Cylinders zum Halbmeſſer des Rades; der Druck aber, den der Ruhepunct C auszuhalten hat, iſt der Verbindungslinie der Puncte A und B proportionirt (140), ſo daß derſelbe ſich ändert, wenn A und B an andere Stellen des Umfanges der Welle und des Rades fallen, ohne daß deßhalb an dem ſtatiſchen Verhältniſſe der Kraft und Laſt eine Aenderung vor ſich geht. Das Wellrad erſcheint im gemeinen Leben als Winde, Haſpel, Göpel, Zahnrad, Waſſerrad u. ſ. w.

148. Eine Rolle iſt eine kreisrunde, an ihrem Umfange mit einer Rinne verſehene Scheibe. Iſt ſie bloß um ihre Axe beweglich, ſo heißt ſie fix; läßt ſie ſich aber nicht bloß um ihre Axe drehen, ſondern auch ſammt derſelben bewegen, ſo nennt man ſie beweglich. Es ſtelle Fig. 32 eine Rolle vor, AB ſey ein von einem abſolut biegſamen Stricke umfaßtes Bogenſtück, C ihr Mittelpunct, P und P′ Kräfte, welche nach Ax und By wirken, ſo daß Ax und By Tangenten der Scheibe ſind. Iſt nun C ein fixer Punct, ſo wird zum Gleichgewichte der genannten Kräfte erfordert, daß

$$P \,.\, CA = P' \,.\, CB, \text{ d. i. } P = P'$$

ſey; in der fixen Rolle iſt alſo im Stande des Gleichgewichtes die Kraft gleich der Laſt. Der Druck, der hierbei auf C ausgeübt wird, verhält ſich nach 140 zu jeder der Kräfte, wie die Sehne AB des vom Stricke umfaßten Bogens zum Halbmeſſer CA der Rolle. Denkt man ſich einen Punct des Strickes By durch einen Nagel feſt gehalten, dafür aber in C eine Kraft Q dem oben erwähnten Drucke entgegen wirkend und ihm an Größe gleich, welche Kraft offenbar von C gegen den Durchſchnittspunct D der verlängerten Ax und By gerichtet ſeyn muß, ſo hat man eine bewegliche Rolle vor ſich, wobei P die Kraft und Q die Laſt iſt. Daher verhält ſich in der beweglichen Rolle im Gleichgewichte die Kraft zur Laſt, wie der Halbmeſſer der Rolle zur Sehne des vom Stricke umfaßten Bogens. Für parallele Kräfte wird $P:Q = AC:2\,AC = 1:2$. So lange $AB > AC$, oder der umfaßte Bogen größer iſt als 60° und kleiner als 300°, findet Gewinn an Kraft Statt; ſobald aber dieſer Bogen kleiner wird als 60° oder größer als 300°, herrſcht das Gegentheil.

149. Jede Ebene, die mit einer horizontalen einen ſpitzigen Winkel macht, heißt geneigt oder ſchief. Iſt C (Fig. 33) ein Punkt der Durchſchnittslinie der geneigten Ebene mit einer horizontalen, BC in erſterer, AC in letzterer auf dieſe Durchſchnittslinie ſenkrecht, und BAC ein rechter Winkel, mithin BA vertical, ſo heißt AC die Baſis, AB die Höhe, BC die Länge und ACB der Neigungswinkel der ſchiefen Ebene. Befindet ſich auf BC ein Körper, deſſen Schwerpunct in G iſt und deſſen Gewicht Q heißt, ſo ſucht ihn die Schwere nach der verticalen Richtung Gz zu bewegen. Soll ihn eine Kraft P, die nach Gx wirkt, auf BC erhalten, ſo muß die Richtung der Reſultirenden von P und Q auf BC ſenkrecht ſtehen, und durch die Grundfläche des Körpers gehen, widrigen Falls derſelbe auf der Ebene umſchlagen würde. Iſt daher GE die Richtung dieſer Re-

ſultirenden, und ſtehen EH und EK auf Gx und Gz ſenkrecht, ſo wird für den Zuſtand des Gleichgewichtes im Allgemeinen ſeyn:

$$P : Q = EK : EH.$$

In dem beſondern Falle, wenn P der Baſis der ſchiefen Ebene parallel wirkt (Fig. 34), iſt $EH = GK$, und da hier die Dreiecke GEK, ABC ähnlich ſind, iſt $EK : GK = AB : AC$, daher

$$P : Q = AB : AC,$$

d. h. es verhält ſich die Kraft zur Laſt, wie die Höhe der ſchiefen Ebene zur Baſis. Iſt aber die Richtung der Kraft P der Länge der ſchiefen Ebene parallel (Fig. 35), ſo fällt EH in die EG, und man hat $P : Q = EK : EG$. Die Aehnlichkeit der Dreiecke EGK, ABC gibt aber $EK : EG = AB : BC$, daher iſt auch $P : Q = AB : BC$, mithin verhält ſich die Kraft zur Laſt wie die Höhe der ſchiefen Ebene zur Länge.

Setzt man an die Stelle der ſchiefen Ebene eine krumme Fläche, ſo iſt zum Gleichgewichte zwiſchen Kraft und Laſt erforderlich, daß die Reſultirende beider auf die Fläche normal einwirke, mithin die Richtung derſelben auf der tangirenden Ebene der Fläche in dem Berührungspuncte ſenkrecht ſtehe. Dieſer Fall reducirt ſich hiedurch auf jenen der ſchiefen Ebene. Das Geſetz des Gleichgewichtes auf der ſchiefen Ebene hat zuerſt Stevin 1605 bekannt gemacht, und Galilei ſpäter ſtreng bewieſen.

150. Zur Erörterung der Theorie der Schraube iſt es nöthig, ſie auf eine ſchiefe Ebene zurückzuführen, und zu dieſem Zwecke die Art, wie man ſich eine Schraube entſtanden denken kann, nebſt der Methode, zu einer Schraubenlinie eine Tangente zu ziehen, vorläufig anzugeben. Um von der Entſtehung einer Schraube eine richtige Anſicht zu faſſen, ſey AB (Fig. 36) ein gerader Cylinder, deſſen Axe, der Deutlichkeit wegen, vertical ſtehen mag. Man denke ſich ein Rechteck abdc, deſſen Baſis bd dem Umfange, und deſſen Höhe ab der Höhe des Cylinders gleich iſt, theile ab in eine beliebige Anzahl gleicher Theile ae, ef, fg, gh, hb, ziehe durch die Theilungspuncte die mit bd Parallelen ee′, ff, gg′, hh′ und die Diagonalen ec, fe′, gf, hg′, bh′. Wird nun das Rechteck abdc um den Cylinder gewickelt, ſo entſteht aus den geraden Diagonalen eine Schraubenlinie. Ein Stück wie ec bildet einen Schraubengang und ae den Abſtand der Schraubengänge. Der Cylinder AB heißt nun Schraubencylinder, und wenn ſich an ihm Hervorragungen nach der Richtung der Schraubenlinie herumziehen, eine Schraube, wohl auch eine Schraubenſpindel; ſind aber die Schraubengänge an einer cylindriſchen Höhlung eines Körpers eingeſchnitten, ſo nennt man ihn Schraubenmutter. — Denkt man ſich eine Ebene CD (Fig. 37), welche den Schraubencylinder in der geraden Linie mn berührt, die mit ab gleichlaufend iſt, ſo entſtehen durch Abwicklung der Cylinderfläche auf dieſe Ebene lauter gerade Linien, die mit mn denſelben Winkel machen, welchen die Diagonalen ec, fe′ ꝛc. mit ab bilden, und jede dieſer Linien wird eine Tangente ihres Schraubenganges. Man kann daher

zu einem Puncte o der Schraubenlinie eine Tangente ziehen, wenn man in CD ein rechtwinkliges Dreieck $\alpha\beta\gamma$ beſchreibt, deſſen mit mn parallele Höhe $\alpha\beta$ dem Abſtande zweier Schraubengänge, deſſen Baſis $\alpha\gamma$ dem Umfange des Schraubencylinders gleich iſt, und deſſen Hypotenuſe $\beta\gamma$ durch den Punct o geht.

151. Es ſeyen MoN, Fig. 38, die Schraubengänge einer vertical ſtehenden Spindel, deren Axe AB iſt, und man ſuche das ſtatiſche Verhältniß zwiſchen der Laſt Q und der am Umfange des Cylinders horizontal wirkenden Kraft P, in der Vorausſetzung, daß keine Reibung vorhanden ſey, und daß der Cylinder die Schraubenmutter nur im Puncte o berühre. Die Laſt Q wirkt in o vertical abwärts, und weil die Kraft P dasſelbe Moment in Beziehung auf die Axe AB hat, ſie mag auf was immer für einen Punct am Umfange des Schraubencylinders wirken, ſo kann man ſie auch nach o verſetzt denken. Es wirken daher beide Kräfte auf o, und die eine hat zu verhindern, daß der Punct o nicht längs der Schraubenlinie hinabgleite. Da es aber hier bloß um die Verhinderung des Anfanges der Bewegung zu thun iſt, ſo muß P nur verhindern, daß o nicht längs der Tangente bc, d. i. über die ſchiefe Gerade abwärts gehe. Da iſt aber (149) $P : Q = ba : ac$; mithin verhält ſich bei der Schraube im Gleichgewichte die Kraft zur Laſt, wie der Abſtand zweier Schraubengänge zum Umfange des Schraubencylinders. — Iſt die Schraube mit mehreren Puncten o, o', o'' der Schraubenmutter in Berührung, ſo wird die ganze Laſt Q in eben ſo viele Theile q, q', q'' zertheilt, wovon q auf o, q' auf o', q'' auf o'' wirkt, und wo $q + q' + q'' = Q$ iſt. Iſt p die Kraft, welche der q, p' diejenige, welche der q' das Gleichgewicht hält u. ſ. f., ſo hat man

$$p : q = ba : ac$$
$$p' : q' = ba : ac$$
$$p'' : q'' = ba : ac, \text{ mithin}$$

$$p + p' + p'' : q + q' + q'' = ba : ac \text{ oder wie vorhin,}$$
$$P : Q = ba : ac.$$

152. Ein Keil iſt ein dreiſeitiges Prisma (Fig. 39), das mit ſeinen Seitenflächen, z. B. mit AD und ED zwiſchen zwei Körper hineingetrieben wird, um ſie zu trennen. Stellt ABC (Fig. 40) einen auf die Kante AB (Fig. 39) ſenkrechten Durchſchnitt des Keiles vor, auf deſſen Seite AC die Kraft P ſenkrecht wirkt, während auf die Seiten AB und BC (Fig. 40) die Laſt ſo vertheilt iſt, daß davon auf AB die Componente q, und auf CB die Componente q' wirkt; ſo ſey DE die Richtung der Kraft P, und Dy auf AB, Dz auf BC ſenkrecht. Fällt man nun aus E auf Dy und Dz die Senkrechten EF und EG und zieht FG, ſo iſt $P : q : q' = FG : EG : EF$. Aber die Dreiecke EFG, ABC ſind ähnlich, denn es iſt der Winkel

$$FGE = FDE = CAB \text{ und } FEG = CBA, \text{ daher iſt}$$
$$FG : EG : EF = AC : AB : CB, \text{ mithin}$$
$$P : q : q' = AC : AB : CB.$$

153. Aus dieſen einfachen Maſchinen beſteht die unendliche Anzahl zuſammengeſetzter Vorrichtungen, deren man ſich zu den mannigfaltigſten Zwecken bedient. Die Zuſammenſetzung geſchieht auf zweierlei Art, entweder wirkt da eine Maſchine mit der andern, oder mittelſt der andern. Als Beiſpiel der erſten Art kann der gemeine Flaſchenzug gelten, den Fig. 41 vorſtellt. Iſt daſelbſt die Kraft P am freien Strickende, die Laſt Q an der unteren Flaſche angebracht, ſo iſt es klar, daß alle Stricke gleich ſtark geſpannt ſeyn müſſen, wenn P mit Q im Gleichgewichte ſeyn ſoll, und daß daher bei n Stricken ſeyn muß $P = \frac{Q}{n}$.

Bei zuſammengeſetzten Maſchinen der zweiten Art iſt die Laſt der erſten Beſtandmaſchine, auf welche nämlich die Kraft P unmittelbar wirkt, die Kraft bei der zweiten; die Laſt an dieſer die Kraft an der dritten u. ſ. w. Heißt daher $a:b$ das Verhältniß der Kraft zur Laſt bei der erſten Maſchine, wenn ſie im Gleichgewichte iſt, eben ſo $a':b'$, $a'':b''$, $a''':b'''$ ꝛc. bei der zweiten, dritten, vierten ꝛc., Q die Laſt bei der letzten, x die Laſt der erſten, x', x'' ꝛc., die der zweiten, dritten ꝛc.; ſo wird

$$\begin{aligned} P : x &= a : b \\ x : x' &= a' : b \\ x' : x'' &= a'' : b'' \\ x'' : Q &= a''' : b''', \text{ mithin} \\ \hline P : Q &= a\,a'\,a''\,a''' : b\,b'\,b''\,b'''. \end{aligned}$$

Es iſt daher das Verhältniß der Kraft zur Laſt aus den einfachen Verhältniſſen der Beſtandmaſchinen zuſammengeſetzt.

Alle hier angeführten Geſetze des Gleichgewichtes ſind nur beſondere Fälle eines allgemeinen Princips, welches das Princip der virtuellen Geſchwindigkeiten genannt wird und ſo lautet: Wenn ein Syſtem von ſo viel Körpern oder Puncten, als man will, wovon jeder durch Kräfte afficirt wird, im Gleichgewichte ſteht, und man ertheilt dem Syſteme eine unendlich kleine, mit der Beſchaffenheit deſſelben verträgliche Bewegung, vermög welcher jeder Punct des Syſtems einen unendlich kleinen Weg zurücklegt, ſo iſt die Summe aus den Producten jeder Kraft in den Weg, den ihr Angriffspunct nach der Richtung der Kraft beſchreibt, vorausgeſetzt, daß man die Wege, welche nach entgegengeſetzten Richtungen beſchrieben werden, durch + und — unterſcheidet, entweder gleich Null oder negativ, je nachdem zu jeder Verſchiebung des Syſtems auch die entgegengeſetzte möglich iſt oder nicht. Dieſes Princip wurde in dieſer Allgemeinheit zuerſt von Joh. Bernoulli 1717 ausgeſprochen; ſeinen Werth ſtellte aber erſt Lagrange (1788) in das volle Licht.

Viertes Kapitel.

Gleichgewicht der Theile feſter Körper unter einander. (Theorie der Cohärenz.)

154. Bereits im vorhergehenden Abſchnitte (45) wurde angedeutet, daß die Verſchiedenheit des Aggregationszuſtandes der Körper ſich auf die Mannigfaltigkeit der relativen Intenſität zweier die Molekel beherrſchenden Grundkräfte, der Anziehungs- und der Abſtoßungskraft zurückführen laſſe. Hier ſoll nun das der feſten Körperform zum Grunde liegende Verhältniß dieſer Kräfte näher betrachtet werden, wobei ihre Reſultirende bei Vergrößerung des Abſtandes der Molekel entſchieden anziehend auftritt, und nicht bloß eine gewiſſe Art und Stärke des Zuſammenhanges der Theile, ſondern wenn die Molekel frei beweglich ſind und einander hinreichend nahe kommen, auch eine beſtimmte Anordnung derſelben, d. i. eine beſtimmte Geſtaltung des durch ihre Vereinigung entſtehenden Körpers bedingt. Die Geſetze der hierauf ſich beziehenden Erſcheinungen laſſen ſich nur durch Erfahrung ausmitteln, und dazu liefert das Folgende das Materiale.

A. Kryſtalliſation der Körper.

155. In der ganzen Natur iſt das Beſtreben der kleinſten Theile, ſich zu einem ſymmetriſch geformten Ganzen zu vereinigen, unverkennbar, und dieſem gemäß zeigen auch ſowohl die organiſchen, als unorganiſchen Körper, wenn ſie ſich ungeſtört bilden konnten, eine auffallende Symmetrie ihres Baues; nur unterſcheiden ſich die Körper beider Naturreiche dadurch von einander, daß in erſterem die runden, in letzterem die eckigen Formen vorwalten. Ein Körper des Mineralreiches, welcher aus gleichartiger Materie beſteht und von urſprünglich vorhandenen ebenen, zu einer ſymmetriſchen Form verbundenen Flächen begrenzt wird, heißt ein Kryſtall. Die Natur liefert uns unzählige Körper in Kryſtallform; an manchem erkennt man die Symmetrie ſeines Baues nur darum nicht, weil er ein Aggregat von ſehr kleinen, regelmäßig gebildeten Theilen oder ein Bruchſtück eines größeren Kryſtalles iſt. Nur ein Kryſtall iſt unter den unorganiſchen Körpern ein in naturhiſtoriſcher Hinſicht für ſich beſtehendes Ganzes, ein Individuum.

156. Soll ein Stoff kryſtalliſiren, ſo iſt nothwendig, daß ſeine kleinſten Theile ihrer innern Kraft ungehindert folgen können. Da dieſes nur bei flüſſigen Körpern der Fall iſt, ſo muß man feſte Körper, die man kryſtalliſiren will, vorläufig durch ein Auflöſungsmittel oder durch Erwärmen tropfbar oder ausdehnſam machen, hierauf aber ihre Theile wieder einander ſo nahe bringen, daß die Cohäſionskraft mit der nöthigen Stärke zu wirken anfangen kann. Letzteres bewirkt man: 1) durch langſames Abkühlen. Durch dieſes Mittel kryſtalliſiren geſchmolzene Körper, jedoch erhält man in der Regel nur dann ſchöne Kryſtalle, wenn man nur einen Theil der geſchmolzenen Maſſe feſt werden läßt und den noch flüſſigen Reſt abgießt (Schwefel, Metalle).

Bei Auflöſungen iſt es nur dann wirkſam, wenn das Auflöſungsmittel von dem kryſtalliſirbaren Stoffe bei höherer Temperatur mehr aufzunehmen vermag, als bei niederer. 2) Durch Verflüchtigung des Auflöſungsmittels mittelſt der Wärme. Auf dieſe Weiſe kryſtalliſirt Kochſalz, Salpeter ꝛc. 3) Durch Zuſatz eines Stoffes, der das Auflöſungsmittel bindet, oder auf andere Weiſe eine Zerſetzung bewirkt. So bekommt man aus einer wäſſerigen Auflöſung des ſchwefelſauren Kupferoxydes durch Zuſatz von Weingeiſt Kryſtalle; auch die Ausſcheidung der Stoffe in Kryſtallform durch Elektricität gehört hieher. 4) Durch ſtarkes Comprimiren der Flüſſigkeit. Auf dieſem Wege hat **Perkins** aus der flüſſigen Eſſigſäure ſchöne Kryſtalle erhalten. — Welches von dieſen Mitteln immer gewählt werden mag oder muß, ſo darf es doch nie ſchnell wirken, weil ſonſt die auf einmal in zu großer Menge feſt werdenden Theile ſich gegenſeitig hindern, eine regelmäßige Form anzunehmen, und das Ganze wohl ein Aggregat kleiner Kryſtalle iſt, dieſe aber zu einem ganz unſymmetriſchen Klumpen zuſammengewachſen ſind. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß nur ſolche Stoffe kryſtalliſiren können, die ſich ohne Veränderung ihrer chemiſchen Natur in tropfbare oder expanſible Form bringen laſſen.

Ein merkwürdiges Beiſpiel des Kryſtalliſirens eines geſchmolzenen Körpers lehrt **Marx** am eſſigſauren Natrum kennen. Wird dieſes über einer Weingeiſtlampe geſchmolzen, und hierauf von der Flamme entfernt, ſo trennt ſich die Flüſſigkeit plötzlich von den Wänden des Ge-Gefäßes, zieht ſich zuſammen und wird feſt. So wie ſich aber eine feſte Haut gebildet hat, brechen aus dem Innern Kryſtalle hervor, und wachſen raſch aufwärts.

Da die angeführten Mittel nicht auf jeden Stoff gleich ſtark oder gleich ſchnell wirken, ſo kann man ſich ihrer bedienen, um aus einer Miſchung mehrerer Stoffe einen oder den andern auszuſcheiden. So trennt man das Digeſtivſalz vom Salpeter aus einer Löſung, worin beide enthalten ſind, bei der gewöhnlichen Salpeterbereitung durch bloßes Abkühlen der Maſſe, weil erſteres ſpäter kryſtalliſirt als letzterer.

157. Die Bildung der Kryſtalle kann durch gewiſſe Umſtände ausnehmend **erleichtert** werden. Iſt eine Flüſſigkeit ſchon nahe daran, Kryſtalle zu liefern, ſo iſt dem Anſchießen derſelben oft ein ſchwacher Stoß ſehr förderlich. Dieſer hilft die Trägheit der Theilchen überwinden, und unterſtützt dadurch die Cohäſionskraft. Ein anderes Beförderungsmittel iſt die Berührung des kryſtalliſirbaren Stoffes mit einem feſten Körper, beſonders mit einem Kryſtall derſelben Natur, oder auch nur mit der Luft. Die ſchon gebildeten Kryſtalle laſſen ſich durch beſondere Verfahrungsweiſen rein erhalten oder auch vergrößern.

Beiſpiele: Eine kryſtallrechte Lauge gibt immer an den Wänden des Gefäßes und an der Oberfläche, wo ſie die Luft berührt, die erſten Kryſtalle; Hineinſtellen von Stäben, Schnüren ꝛc. beſchleunigt darum die Kryſtallbildung. Legt man in eine Kochſalzlöſung einen Salzkryſtall, ſo ſieht man ihn ſchnell wachſen, wenn man auch vorher in der Flüſſigkeit noch nichts von einer anfangenden Kryſtalliſation bemerken konnte. Nimmt man einen ſolchen Kryſtall heraus, bricht davon ein Stück ab, und legt ihn wieder an ſeinen vorigen Platz, ſo wird das abgeriſſene Stück wieder völlig erſetzt. Gibt man in eine Löſung von 3 Th. Glau-

berſalz und 2 Th. Salpeter in lauem Waſſer einen Salpeterkryſtall, ſo ſchießt bloß Salpeter an, thut man aber dasſelbe mit einem Glauberſalzkryſtall, ſo erfolgt bloß das Kryſtalliſiren des Glauberſalzes. Legt man in eine Auflöſung von ſchwefelſaurem Kupferoxyd und ſchwefelſaurem Zinkoxyd einen Eiſenvitriolkryſtall, ſo vergrößert ſich dieſer Kryſtall durch die Maſſe der Auflöſung, ohne Aenderung ſeiner Geſtalt; legt man den vergrößerten Kryſtall wieder in eine Eiſenvitriollöſung, ſo vergrößert er ſich auf dieſelbe Weiſe in dieſer, und man kann durch Wiederholen dieſes Verfahrens einen Kryſtall erhalten, der aus abwechſelnden, parallelen Schichten von grünlichem Eiſenvitriol und ſchwefelſaurem Zinkkupferoxyd beſteht. Vielleicht gehört auch das von Brewſter erzählte merkwürdige Factum hieher, daß ein Tropfen einer in Schwerſpath eingeſchloſſen geweſenen Flüſſigkeit nach dem Herausnehmen zu einem Kryſtall erſtarrte, ohne daß man es einer Verdünſtung der Flüſſigkeit zuſchreiben konnte, ſo wie die Erfahrung Wackernagl's, der bemerkt hat, daß ſich Kryſtalle, die mit Firniß überzogen ſind, in ihrer Lauge noch merklich vergrößern, woraus er den Schluß ziehen will, die Cohärenzkraft wirke auf eine merkliche Entfernung. Das Effloresciren, vermög welchem ſich weit über der Oberfläche der Flüſſigkeit an den Gefäßwänden ſeine Kryſtalle bilden, wie dieſes vorzüglich beim Salpeter bemerklich iſt, läßt ſich auch hieraus erklären. Leblanc lehrt Salzkryſtalle von jeder Größe erzeugen. Er empfiehlt die gehörig abgedampfte Lauge ruhig erkalten zu laſſen, den Reſt von den ſchon gebildeten Kryſtallen in eine flache Schale abzugießen, und die Bildung neuer Kryſtalle abzuwarten. Von dieſen ſoll man die ſchönſten auswählen, ſie in ein anderes flaches Gefäß neben einander legen, jedoch ſo, daß keine Berührung unter ihnen eintreten kann, und die neuerdings kryſtallrecht gemachte Lauge darüber gießen, jeden Kryſtall wenigſtens täglich einmal umlegen, und dieſes Verfahren ſo oft wiederholen, als ſich die Lauge noch kryſtallrecht machen läßt, oder bis die Kryſtalle groß genug ſind. Ein anderes Verfahren, aus kleineren Kryſtallen größere zu erhalten, beſteht darin, dieſe Kryſtalle mit ihrer Lauge an einen Ort zu bringen, wo ſie einem Temperaturwechſel ausgeſetzt ſind. Hat die Lauge in der Wärme ein größeres Auflöſungsvermögen als in der Kälte, ſo wird bei jedem Steigen der Temperatur etwas von den Kryſtallen aufgelöſet; aber weil die kleineren im Verhältniß zu ihrer Maſſe eine größere Oberfläche haben, als die größeren, ſo werden auch jene mehr verlieren als dieſe, während doch beim Sinken der Temperatur alle Kryſtalle nur gleichen Zuwachs erhalten. Daher werden nach und nach alle kleineren Kryſtalle verſchwinden, und ſomit wenige, aber deſto größere zum Vorſchein kommen. (Zeitſchr. 3. 392. Pogg. Ann. 11. 323.)

158. Viele Stoffe, die in Kryſtallform aus einer wäſſerigen Auflöſung ausgeſchieden werden, verbinden ſich mit einer gewiſſen Quantität Waſſer, das in dieſem Zuſtande gleichfalls feſt erſcheint. Man nennt es Kryſtalliſationswaſſer. Die Menge desſelben iſt oft verſchieden, je nachdem ein Stoff ſich aus einer heißen Flüſſigkeit ſchnell abſcheidet, oder ſich aus einer langſam erkaltenden oder bereits kalten nur allmälig abſetzt. Dieſes Waſſer verlieren viele Kryſtalle wieder bei der gewöhnlichen Lufttemperatur ganz oder theilweiſe; ſie büßen dann auch ihre Kryſtallgeſtalt ein und zerfallen. Man nennt dieſes ein Verwittern (Glauberſalz). Andere geben erſt in höherer Temperatur einen Theil ihres Kryſtallwaſſers ab, und verwandeln ſich dadurch in einen ſelbſt chemiſch betrachtet verſchiedenen Stoff (Zinkvitriol,

Grünſpan u. a.). Viele Kryſtalle, beſonders Salze, nehmen ihr in der Luft oder in der Hitze verlorenes Kryſtallwaſſer wieder auf, wenn ſie mit Waſſer in Berührung kommen (Verhärten des Gipſes).

Manche Stoffe nehmen beim Kryſtalliſiren tropfbares Waſſer, einen Theil der Mutterlauge oder auch andere Flüſſigkeiten, ja ſogar Gaſe auf. So findet man oft in Bergkryſtallen Waſſertropfen. Brewſter hat in Topaſen, Amethiſten ꝛc. ſehr viele Höhlungen (in einem Stück Cymophan von $^1/_2$ Q. Zoll Fläche fand er deren 30,000) entdeckt, die mit eigenen Flüſſigkeiten angefüllt waren; ſelbſt mitten im Eis fand er Waſſertropfen (Zeitſchr. 1. 414). Nach Dumas enthält das ſogenannte Kniſterſalz, wie man es in Wieliczka, Hallſtadt ꝛc. findet, Waſſerſtoffgas, und das Freiwerden deſſelben verurſacht das beim Auflöſen dieſes Salzes im Waſſer bemerkbare Kniſtern. In Flußſpathen fand Nicol Luft und zugleich eine tropfbare Flüſſigkeit eingeſchloſſen, die im Freien Flußſpathkryſtalle abſetzte; mit Schwerſpath erfolgte dasſelbe (Zeitſchr. 5. 107); die in Bläschen von Kochſalzkryſtallen enthaltene Flüſſigkeit liefert aber kein Kochſalz, ſondern enthält ſalzſaure Bittererde. (Zeitſchr. 7. 238.)

159. Kryſtalle können durch ihre *mathematiſchen* und *phyſikaliſchen* Eigenſchaften ein Gegenſtand der Betrachtung werden. Zu erſteren gehört die Form und Struktur, zu letzteren Härte, Glanz ꝛc. der Flächen, Kanten oder Ecken. Die Form des Kryſtalls heißt ſeine *Kryſtallgeſtalt*. Man ſieht bei der Betrachtung einer ſolchen nicht auf ihre Größe, und macht daher zwiſchen zwei Geſtalten keinen Unterſchied, ſobald ſie in geometriſchem Sinne einander ähnlich ſind. Eine Kryſtallgeſtalt wird durch die ſie begrenzenden Flächen, welche *Kryſtallflächen* heißen, beſtimmt, und nach der Anzahl, Figur und Lage dieſer Flächen benannt. Man betrachtet letztere als Ebenen, wenn ſie auch dem Begriffe einer Ebene nicht völlig entſprechen, und ſetzt die Abweichungen von den Eigenſchaften einer Ebene auf Rechnung zufälliger Störungen beim Bildungsprozeſſe. Dasſelbe gilt von den Kanten und Ecken, wovon jene als gerade Linien, dieſe als Körperwinkel angeſehen werden, wiewohl ſie in der Regel nur bei kleinen, ſelten bei größeren Kryſtallen genau von dieſer Art ſind. Jeder Kryſtallgeſtalt liegt *Symmetrie* zum Grunde, obgleich dieſelbe in den meiſten Fällen nicht beim erſten Blicke erkannt wird. Denn nur die Winkel, welche die Kryſtallflächen mit einander machen, erſcheinen ſtets conſtant und an eine feſte Regel gebunden, die Flächen ſelbſt ſind meiſtens theilweiſe vergrößert oder verkleinert, und man muß ſie, um die Symmetrie des Kryſtalles wahrzunehmen, erſt auf gleiche Größe reduciren, indem man in Gedanken den Kryſtall durch Schnitte, die ſeinen Flächen parallel gehen, oder auch durch Erweiterung ſeiner Begrenzung ohne Störung des Parallelismus der Flächen, auf eine ſymmetriſche Form bringt. Die Symmetrie der Kryſtallgeſtalt äußert ſich durch Uebereinſtimmung der Lage der Flächen gegen ein Syſtem gewiſſer gerader Linien, die man *Axen* nennt; dieſe ſchneiden ſich in einem Puncte, dem *Mittelpuncte* der Kryſtallgeſtalt, und endigen an *Hauptpuncten* der letzteren (Ecken, Mittelpuncte der Kanten oder Flächen). Bietet die Kryſtallgeſtalt, nach jeder der Axen betrachtet,

nicht dieſelbe Anordnung der Flächen dar, ſo wird eine Axe als **Hauptaxe** gewählt. Schneidet eine Ebene, ſenkrecht gegen eine Axe gelegt, die Geſtalt in einer ſymmetriſchen Figur, ſo gibt man dieſer Axe vor den übrigen den Vorzug. Es gibt Geſtalten, die mehrere Hauptaxen zulaſſen, ſie heißen **vielaxige**, im Gegenſatze mit den **einaxigen**, woran ſich bloß Eine Hauptaxe vorfindet.

So ſind z. B. in einem Hexaeder (Würfel) die durch zwei gegenüberſtehende Ecken gehenden Axen anderer Art, als die durch zwei gegenüberſtehende Kantenmittelpuncte gehenden, und dieſe wieder von anderer Art, als die durch Flächenmittelpuncte gezogenen. Von erſteren hat dieſe Kryſtallgeſtalt vier, von den zweiten ſechs, von den letzteren drei. Das Hexaeder iſt demnach eine vielaxige Geſtalt.

160. Einige Kryſtallgeſtalten ſind von gleichartigen und gleichliegenden Flächen begrenzt. Dieſe heißen **einfache** Geſtalten; ſie ſtimmen mehr oder weniger mit den ſymmetriſchen Körpern der Geometrie überein, und alle ihre Flächen gehören zu einer einzigen geometriſchen Geſtalt. Andere Geſtalten haben ungleichartige oder ungleichliegende Flächen zur Begrenzung, es laſſen ſich daran mehrere Gruppen von Flächen unterſcheiden, deren jede eine für ſich beſtehende einfache Geſtalt beſtimmt, die zum Vorſchein kommt, wenn man die in dieſer Gruppe enthaltenen Flächen bis zur wechſelſeitigen Durchſchneidung erweitert. Eine ſolche Kryſtallgeſtalt iſt daher der Raum, der mehreren auf dieſelben Axen ſich beziehenden einfachen Geſtalten gemeinſchaftlich angehört, die ſich in ihm wechſelsweiſe durchdringen. Man nennt ſie eine **zuſammengeſetzte** Geſtalt oder **Combination**. Von den Combinationen ſind bloße Aggregate von Kryſtallen wohl zu unterſcheiden, die durch Zuſammenwachſen zweier oder mehrerer Flächen entſtehen, und oft ſogar regelmäßig oder ſymmetriſch ausſehen, häufig mit Natur- oder Kunſtgegenſtänden die größte Aehnlichkeit haben, und auch nach ſolchen benannt werden.

Das Hexaeder, das Octaeder der Geometrie ſind einfache Geſtalten; die Geſtalt Fig. 42 aber iſt eine Combination des Hexaeders und Octaeders. Man kann ſie eben ſo gut als ein Hexaeder betrachten, dem durch Ebenen, welche die Lage der Octaederflächen haben, wie auch als ein Octaeder, dem durch Ebenen, welche die Lage der Hexaderflächen haben, die Ecken weggeſchnitten ſind. Sie iſt der Raum, der einem Hexaeder und Octaeder, die denſelben Mittelpunct haben, und wobei die Ecken der einen Geſtalt den Mittelpuncten der Flächen der andern entſprechen, gemeinſchaftlich angehört. Der Begriff der Combination der Kryſtallformen wurde zuerſt von **Mohs**, dem Gründer der wiſſenſchaftlichen Mineralogie, aufgeſtellt.

Als bloſſe Aggregate von Kryſtallen ſind zu betrachten die baumartigen, ſtaudenartigen, haarförmigen, zähnigen, drahtförmigen, geſtrickten Geſtalten, die Bleche und Blättchen, Kugeln, Nieren, Trauben ꝛc., wie ſie uns viele Körper zeigen. Oft ſind die einzelnen Individuen, aus denen ein ſolches Aggregat beſteht, zu klein, als daß ſie mit freiem Auge wahrgenommen werden könnten; nicht ſelten reicht auch das bewaffnete Auge nicht aus, und man kann nur aus dem gleichzeitigen Vorkommen ähnlicher Stücke mit deutlicherer Zuſammenſetzung, oder aus dem ſucceſſiven Kleinerwerden der Individuen in demſelben Stücke

auf die Art ihrer Zuſammenſetzung ſchließen. Kein Wunder, daß ſolche Körper oft weder Regelmäßigkeit, noch Symmetrie zeigen, und doch liegen der Bildung ihrer Zuſammenſetzungsſtücke dieſelben Geſetze zum Grunde, unter deren Herrſchaft die ſchönſten Kryſtallgeſtalten entſtehen.

161. Daß ſich alle zuſammengeſetzten Geſtalten, ſie mögen nun Combinationen oder regelloſe Zuſammenſetzungen ſeyn, auf einfache zurückführen laſſen, iſt klar; es gibt aber ſelbſt unter den einfachen Geſtalten einen ſolchen Zuſammenhang, daß man alle ſolche aus einer geringen Anzahl derſelben durch ein beſtimmtes Verfahren entſtehen laſſen, d. h. ableiten kann. Dazu gibt uns die Natur ſelbſt den Fingerzeig, indem ſie manche Geſtalten mit einander combinirt hervorbringt, andere aber nicht, und ſo andeutet, es herrſche zwiſchen erſteren eine beſondere Relation, die zwiſchen letzteren fehlt. Man nennt die Geſtalt, aus der man andere ableitet, die aber ſelbſt von keiner anderen abgleitet wird, die Grundgeſtalt. Die Art der Ableitung darf nicht willkürlich, ſondern muß von der Natur ſelbſt durch die in ihr vorkommenden Combinationen an die Hand gegeben ſeyn. Der Inbegriff aller aus einer Grundgeſtalt von beſtimmten Abmeſſungen (wenn ſelbe hierin, abgeſehen von der Größe, Verſchiedenheiten zuläßt) abgeleiteten Geſtalten macht eine Kryſtallreihe aus, und der Inbegriff ſämmtlicher Kryſtallreihen, welche aus gleichartigen, d. h. nur in den Abmeſſungen verſchiedenen Grundgeſtalten entſpringen, heißt ein Kryſtallſyſtem. Zur Grundgeſtalt wählt man ſtets die einfachſte und zur Ableitung der übrigen Geſtalten ſchicklichſte einer Kryſtallreihe. In ſofern man die Abmeſſungen der Grundgeſtalt unbeſtimmt läßt, betrachtet man ſie als die Grundlage des Kryſtallſyſtems, wozu ſie gehört, und benennt dieſes nach ihr.

In Betreff der Grundgeſtalten und der davon herrührenden Kryſtallſyſteme weichen die einzelnen Kryſtallographen von einander ab, wahrſcheinlich, weil manche die Ableitung für etwas von aller Erfahrung Unabhängiges, durch bloße Begriffe zu Erörterndes anſehen. Mohs, der unſeres Erachtens der Natur am getreueſten bleibt, nimmt ſieben Grundgeſtalten an, woraus auch eben ſo viele Kryſtallſyſteme hervorgehen: 1) das Hexaeder; 2) das Rhomboeder; 3) die gleichkantige vierſeitige Pyramide; 4) das Orthotyp; 5) das Hemiorthotyp; 6) das Hemianorthotyp; 7) das Anorthotyp. Das Rhomboeder iſt ein gleichſeitiges ſchiefwinkliges Parallelepiped; die fünf letzten Geſtalten ſind ſämmtlich vierſeitige Pyamiden. Die Pyramide des Kryſtallographen unterſcheidet ſich von jener des Geometers; erſtere entſteht aus letzterer, wenn dieſer eine gleichgeſtaltete in entgegengeſetzter Lage ſo angefügt wird, daß die Grundflächen, welche hier ſtets ſymmetriſche Figuren ſind, zu einer einzigen Fläche, die Baſis der kryſtallographiſchen Pyramide genannt, zuſammenſtoßen, und die Verbindungslinie der Spitzen (die Axe der Pyramide) in dem Mittelpuncte der Baſis, wie auch der Geſtalt ſelbſt, halbirt iſt. Die gleichkantige, vierſeitige Pyramide hat zur Baſis ein Quadrat, und die Axe ſteht auf ihr ſenkrecht; das Orthotyp iſt eine Pyramide mit rhombiſcher, d. h. gleichſeitiger, viereckiger, ſchiefwinkliger Baſis und darauf ſenkrechter Axe; bei dem Hemiorthotyp ſteht die Axe auf der Ebene der rhombiſchen Baſis ſchief, aber doch auf einer der Diagonalen der Baſis ſenkrecht; bei dem Hemianorthotyp macht die Axe mit jeder der Diagonalen der

rhombiſchen Baſis ſchiefe Winkel; das Anorthotyp endlich erſcheint, wie man es auch immer aufſtellen mag, als Pyramide, die ein ungleichſeitiges Parallelogramm zur Baſis hat. Die aus den angeführten Grundgeſtalten hervorgehenden Kryſtallſyſteme heißen der Ordnung nach: 1) das teſſulariſche; 2) das rhomboedriſche; 3) das pyramidale; 4) das orthotype; 5) das hemiorthotype; 6) das hemianorthotype; 7) das anorthotype. Das erſte dieſer Syſteme umfaßt alle vielaxigen Geſtalten, die übrigen alle einaxigen. Weiß und Naumann nehmen 6 Kryſtallſyſteme an. Sie heißen nach Erſterem: 1) das reguläre; 2) das zwei- und einaxige; 3) das drei- und einaxige; 4) das ein- und einaxige; 5) das zwei- und eingliedrige und 6) das ein- und eingliedrige. Dieſelben Syſteme haben bei Naumann folgende Benennungen: 1) das iſometriſche; 2) das monodimetriſche; 3) das monotrimetriſche; 4) das aniſometriſche; 5) das monoklinometriſche und 6) das triklinometriſche. Die erſten drei Syſteme Weiß's und Naumann's fallen mit den erſten von Mohs völlig zuſammen.

162. Mit der äußeren, regelmäßigen oder ſymmetriſchen Geſtalt der Kryſtalle ſteht auch eine große Regelmäßigkeit der Structur in Verbindung. Es laſſen ſich nämlich die meiſten kryſtalliſirten Körper, ſelbſt wenn ſie nur Bruchſtücke ganzer Kryſtalle ſind, nach gewiſſen Richtungen ſo theilen (ſpalten), daß man lauter ebene Theilungsflächen bekommt; man nennt dieſe Richtungen den Blätterdurchgang. Solcher Durchgänge gibt es in demſelben Körper wenigſtens drei, oft mehrere, doch läßt ſich nicht nach jedem die Theilung mit gleicher Leichtigkeit vornehmen; einige Körper geſtatten dieſes überhaupt nur ſehr ſchwer, und man erkennt den Blätterdurchgang nur aus feinen Streifen oder Sprüngen, manchmal ſogar nur durch ein beſonderes Verhalten gegen das Licht. Wenn man einen Kryſtall nach verſchiedenen Blätterdurchgängen ſpaltet, erhält man auch verſchiedene Theilungsgeſtalten; verrichtet man aber die Theilung nach den deutlichſten Durchgängen, bis von den äußeren Flächen nichts mehr übrig iſt, ſo erhält man eine ſymmetriſche, oft ſogar regelmäßige Geſtalt, welche Haüy, der den Werth und die Eigenthümlichkeiten der Theilungsverhältniſſe überhaupt zuerſt kennen lehrte, Kerngeſtalt (forme primitive) nennt, während er die Geſtalt des ganzen Kryſtalles abgeleitete Geſtalt (forme secondaire) heißt. Fährt man fort, den Kern ſowohl, als die abgenommenen Blätter weiter zu ſpalten, ſo erhält man lauter kleine, ſymmetriſche Körperchen, die ſich an Geſtalt durchaus gleichen. Haüy nennt ſie Ergänzungstheilchen (molécules intégrantes). Man braucht ſich nicht mit der wirklichen Theilung zu befaſſen, ſondern kann die Geſtalt ſolcher Körperchen aus dem Kerne und der Richtung der Blätterdurchgänge erkennen. So z. B. iſt es leicht einzuſehen, daß bei einem Hexaeder, einem Rhomboidaldodekaeder und einem ſechsſeitigen Prisma, deren Blätterdurchgänge mit den Flächen des Kernes gleichlaufend ſind, die Ergänzungstheilchen die Geſtalt eines Parallelepipedums, eines Tetraeders und eines dreiſeitigen Prisma's haben müſſen.

Als Beiſpiel einer hieher gehörigen Unterſuchung mag die Spaltung eines Kalkſpathes dienen, der in der Form einer ſechsſeitigen Säule erſcheint,

wie Fig. 43 zeigt. Setzt man in a b parallel mit A B ein Meſſer an, und drückt darauf, ſo ſpringt ein Stück a b c d weg. Daſſelbe geſchieht, wenn man das Meſſer parallel mit D F oder C E anſetzt, nicht aber in Richtungen, die mit A C, B D oder E F gleichlaufend ſind. Unten wird gerade das Gegentheil Statt finden; da wird man parallel mit H K, L M, I G mit Erfolg die Spaltung verſuchen, nicht aber in Richtungen, die mit G H, K M, L I gleichlaufend ſind. Wenn man ſo mit der Spaltung fortfährt, kommt man auf eine rhomboedriſche Kerngeſtalt. Daß eine ſolche Spaltung nicht bei jedem Kryſtalle ausführbar ſey, kann man wohl leicht begreifen; ſie iſt auch zur Kenntniß der Kerngeſtalt nicht unumgänglich nöthig; denn wenn man an irgend einem Kryſtalle die Richtung der Spaltungsebenen durch Meſſung beſtimmt, ſo kann man mittelſt Rechnung die Geſtalt des Kernes finden, der übrig bliebe, wenn die Blätter nach dieſen Richtungen weggenommen würden.

Man kennt bis jetzt ſechs Kerngeſtalten, nämlich: 1) das Tetraeder; 2) das Parallelepiped; 3) das Octaeder (worunter Haüy nebſt dem regelmäßigen, auch noch jede vierſeitige Pyramide verſteht); 4) das regelmäßige ſechsſeitige Prisma; 5) das Dodekaeder mit vierſeitigen Flächen; 6) das Triangulardodekaeder. Ueber die Anzahl und Geſtalt der Ergänzungstheilchen iſt man nicht durchaus einerlei Meinung. Einige nehmen bloß ſphäriſche Ergänzungstheilchen an, andere polyedriſche. Haüy betrachtet das Parallelepiped, das Tetraeder und die dreiſeitige Säule als ſolche, weil dieſe Körper von der möglichſt geringſten Anzahl von Flächen begrenzt ſind, durch welche überhaupt ein Raum eingeſchloſſen werden kann, und zur Bildung aller Formen hinreichen. Aus dieſen Theilchen läßt er die Kryſtalle dadurch entſtehen, daß ſie ſich reihenweiſe an einander legen. Die große Verſchiedenheit der Kryſtallgeſtalten bei einer ſo geringen Anzahl von verſchiedenen Elementen, aus denen ſie beſtehen, leitet er daraus her, daß die Schichten ſtufenweiſe abnehmen, ſo wie ſie ſich von der Kerngeſtalt entfernen, und zwar entweder bloß an den Ecken oder an den Kanten, oder in einer Zwiſchenlage. Man kann ſich dieſes am beſten durch Modelle verſinnlichen. (Seeber in Gilb. Ann. 76. 229. Unterſuchungen über die Formen der unorganiſchen Natur, von Hausmann. Gött. 1822.)

163. Kryſtalliſirte Körper weichen oft in ihren phyſiſchen Eigenſchaften von unkryſtalliſirten Stoffen derſelben Natur ſehr ſtark ab, wovon der Grund darin liegt, daß bei erſteren die Cohärenzkraft frei wirken kann, während ſie bei letzteren durch äußere Umſtände beſchränkt wird. Die meiſten Körper werden durch Kryſtalliſiren ſpröde und hart, ja ſelbſt dadurch geeignet, chemiſchen Kräften beſſer zu widerſtehen; undurchſichtige Stoffe werden durch Kryſtalliſiren durchſichtig oder doch durchſcheinend und umgekehrt; die Farbe der Stoffe ändert ſich beim Uebergange in die Kryſtallform.

Kohlenſtoff und Thonerde, die im unkryſtalliſirten Zuſtande undurchſichtig ſind und keine beſondere Härte beſitzen, werden durch Kryſtalliſiren durchſichtig und ſo hart, daß ſie alle übrigen zu ritzen im Stande ſind (Diamant und Saphir). Schwefel, der, bis 160° C. erhitzt, in kaltes Waſſer gegoſſen wird, und nicht kryſtalliſiren kann, bleibt weich und durchſcheinend. Kryſtalliſirtes Glas iſt milchweiß, undurchſichtig und hart wie Feuerſtein, während das nicht kryſtalliſirte (amorphe) Durchſichtigkeit beſitzt. Phosphor wird durch Kryſtalliſiren durchſichtig. Auf dem veränderten Verhalten kryſtalliniſcher Stoffe gegen chemiſche Einwirkung beruht die Bereitung des Metallatlaſſes (moiré métallique), das Damasciren des Stahles, die Eigenſchaft des Meteorſtahles durch

ein Aetzmittel ſtrahlige Zeichnungen anzunehmen. Beim Schmelzen des Eiſes bleiben die zuerſt entſtandenen regelmäßigen Eisnadeln am längſten feſt.

164. Körper von derſelben materiellen Beſchaffenheit kryſtalliſiren nicht immer in derſelben Geſtalt. Meiſtens gehören ihre Kryſtallformen in daſſelbe Kryſtallſyſtem und zu derſelben Kryſtallreihe; aber es gibt auch viele Fälle, wo derſelbe Stoff in Formen kryſtalliſirt, die ſich nicht von derſelben Grundgeſtalt ableiten laſſen. Solche Stoffe heißen dimorphe. Im Allgemeinen kann man es als Regel aufſtellen, daß die Kryſtallformen nicht von der materiellen Beſchaffenheit, ſondern von der Anzahl und Verbindungsweiſe der Atome abhängen. Daher können ganz heterogene Stoffe in derſelben Kryſtallform erſcheinen, wenn ihre Atome in gleicher Anzahl und auf gleiche Weiſe mit einander verbunden vorkommen. Man nennt ſolche Stoffe iſomorphe.

Kalkſpath (kohlenſaurer Kalk) kryſtalliſirt in Rhomboedern, ſechsſeitigen Pyramiden, ſechsſeitigen Säulen, alſo in Geſtalten, die ſich von einem Rhomboeder ableiten laſſen, jedoch auch als Arragonit in Prismen von ſolchen Flächenwinkeln, daß keine Ableitung derſelben aus einer rhomboedriſchen Grundgeſtalt möglich iſt. Erhitzt man letzteren, ſo zerſpringt der Kryſtall in rhomboedriſche Formen. Schwefel kryſtalliſirt verſchieden, je nachdem er aus einer geſchmolzenen Maſſe oder aus einer Auflöſung in Schwefelkohlenſtoff oder Chlorſchwefel anſchießt. Eine große Rolle ſpielt bei der Kryſtallform der Waſſergehalt, weil er die Anzahl der ſich verbindenden Atome abändert. So kryſtalliſirt Zinkvitriol wie Kupfervitriol, wenn man ihm $^1/_8$ des letzteren zuſetzt, und dadurch den Waſſergehalt beider einander gleich macht; Phosphorſäure gibt mit jeder Baſis dieſelben Kryſtalle, und es läßt ſich eine Baſis eines phosphorſauren Salzes durch eine andere ohne Störung der Kryſtallgeſtalt erſetzen. Mancher Stoff kryſtalliſirt bloß darum bei verſchiedenen Temperaturen verſchieden, weil er eine verſchiedene Waſſermenge in ſeine Miſchung aufnimmt, und ſich die Anzahl der ſich verbindenden Atome nach der Temperatur richtet; mancher Stoff hat darum eine ſo große Fähigkeit, andern in der geringſten Menge beigemiſcht, ſeine Kryſtallgeſtalt aufzudringen, weil er ſchon in einer geringen Quantität eine mit ſeiner natürlichen Miſchung gleiche Atomenzahl hervorbringt. — Von einer Aenderung der Verbindungsweiſe der Atome hängen auch jene Umbildungen ab, die manche Kryſtalle erleiden, ohne vorher in den flüſſigen Zuſtand überzugehen, und welche deutlich beweiſen, daß in einigen Fällen ſchon die an der Elaſticität der Körper erkennbare Verſchiebbarkeit der Theile zur Kryſtalliſirung hinreiche, beſonders wenn ſie durch eine Temperaturerhöhung begünſtigt wird. Kocht man z. B. einen Kupfer- oder Zinkvitriolkryſtall langſam in Alkohol, ſo wird er matt, behält jedoch ſeine Form bei; zerbricht man ihn aber, ſo zeigt er im Innern unzählige, neu gebildete Kryſtalle, die von der Form des Ganzen abweichen. Kryſtalle von ſchwefelſauren Salzen, die bei mittlerer Luftwärme entſtanden ſind, zeigen, wenn ſie einige Zeit dem Sonnenlichte ausgeſetzt waren, nach dem Zerbrechen, im Innern neugebildete Kryſtalle. Siehe Mitſcherlich in Pogg. Ann. 11. 323; 12. 137; 17. 385. Haidinger in Pogg. Ann. 6. 191; 11. 173, 366. Vergleiche hiemit Schweigg. J. 49. 245; 51. 163; 54. 205, 358.

165. Die vorher erwähnten Geſetze der Kryſtalliſation berechtigen zur Annahme, daß ſich die Molekel nach verſchiedenen Richtungen

verſchieden anziehen, und daß es Lagen derſelben gibt, in welchen ſie die größte Anziehung auf einander ausüben; denn nur auf dieſe Art wird es begreiflich, daß die Molekel, wenn ſie ſich ſelbſt überlaſſen ſind, ſich gerade auf eine beſtimmte Weiſe neben einander lagern, d. h. einen Kryſtall bilden. Es iſt klar, daß bei mehreren ſolchen Lagen ein Maximum der Anziehung eintreten kann, und daß daher bei derſelben Beſchaffenheit der Molekel doch verſchiedene Kryſtallformen möglich ſind, ja es iſt nicht ſchwer zu begreifen, daß zwei Stoffe ſich gegenſeitig, ohne die Kryſtallgeſtalt zu ſtören, vertreten können; denn es wird dazu nur erfordert, daß ihre Molekel gleich geſtaltet ſeyen, oder daß in ähnlichen Lagen derſelben ein Maximum der Anziehung Statt finde. Dieſes Verhalten deutet aber wieder darauf hin, daß die Molekel polyedriſche Geſtalten beſitzen. Allein dieß hindert nicht, daß die Atome, woraus die Molekel beſtehen, keine polyedriſche, ſondern z. B. eine ſphäriſche Geſtalt haben, denn durch Gruppirung von Kugeln laſſen ſich offenbar polyedriſche Formen erhalten, und es zeigt ſich dabei auch der Einfluß der Anzahl der Atome auf die Geſtalt der Molekel.

Ueber die Kryſtallformen ſiehe die Kryſtalliſation in geometriſcher und phyſikaliſcher Hinſicht von Brochant de Villiers. Heidelberg, 1820. Mohs's Naturgeſchichte des Mineralreichs. Wien, 1836. Grundriß der Kryſtallographie von Naumann. Leipzig, 1830. Geſchichte der Kryſtallkunde von Marx. Carlsruhe, 1825. Elemente der Kryſtallographie von G. Roſe. Berlin, 1833.

B. Art der Verbindung der Theile feſter Körper.

166. Die Theile feſter Körper müſſen ſich in ſtabilem Gleichgewichte befinden, weil nur durch eine beſtimmte Kraft eine Aenderung ihrer Lage bewirkt wird. Dieſe Aenderung ſelbſt iſt entweder eine bleibende oder eine nach Wegnahme der ſie bewirkenden Kraft wieder verſchwindende, gerade ſo wie ein ſtabiler, ſchwerer Körper durch eine ſeiner Stabilität entgegenwirkende Kraft wieder in eine andere ſtabile Lage gebracht wird, oder nur ſeine alte Lage verläßt, ſo lange die Wirkung jener Kraft dauert, hierauf aber ſie wieder einnimmt. Die verſchiedene Größe der Stabilität der Molekel unter einander und die Anzahl ihrer möglichen ſtabilen Lagen begründet verſchiedene Modificationen des feſten Zuſtandes.

167. In ſoferne die Lage der Theile eines feſten Körpers durch eine äußere Kraft geändert wird, aber wieder zurückkehrt, ſobald dieſe Kraft zu wirken aufhört, heißt ein Körper elaſtiſch. Es liegt im Begriffe der Stabilität, daß jeder feſte Körper elaſtiſch, ja für Kräfte, die eine gewiſſe Grenze nicht überſchreiten, ſogar vollkommen elaſtiſch ſey, d. h. nach Wegnahme der ſtörenden Kraft ſeine vorige Geſtalt und Dichte vollkommen wieder annehme; doch wird die Größe der größten Kraft, für welche er noch vollkommen elaſtiſch iſt, für verſchiedene Körper, ja ſelbſt für denſelben Körper unter verſchiedenen Umſtänden verſchieden ausfallen, gleichwie die Stabilität verſchiedener oder deſſelben ſchweren Körpers in verſchiedenen Lagen eine verſchiedene

Größe hat. Die größte jener Kräfte, für welche ein Körper noch vollkommen elaſtiſch iſt, beſtimmt die Größe der Elaſticität, und die Größe der Dehnung, welche er durch ſie erleidet, die Elaſticitätsgrenze. Die Größe der Drehung kann man, wie ſpäter zu erwähnende Verſuche lehren, innerhalb der Elaſticitätsgrenze ohne merklichen Fehler der dehnenden Kraft proportional ſetzen. Der Quotient, den man erhält, wenn man dieſe durch jene dividirt, iſt daher für jeden einzelnen Körper eine unveränderliche Größe und heißt das Elaſticitätsmaß (Elaſticitäts-Modulus). Bei einem durchaus homogenen Körper iſt das Elaſticitätsmaß nach allen Richtungen gleich groß; bei kryſtalliſirten iſt dieſes nicht allgemein, ſondern nur für vielarige Kryſtalle der Fall. (Mehr hierüber in der Akuſtik.) Sowohl die Größe, als die Grenze der Elaſticität iſt bei verſchiedenen Körpern verſchieden, und beide ändern ſich oft bei demſelben Körper. So haben z. B. gehärteter Stahl, geſchlagenes Meſſing, Elfenbein, Federharz, Fiſchbein ꝛc. eine bedeutende Elaſticität; Stahl hat eine größere Elaſticitätsgrenze als Eiſen; friſches Holz eine größere als trockenes, geſchmiedete Metalle eine größere als gegoſſene, Wärme und ſchnelles Abkühlen nach ſtarker Erhitzung verändern die Elaſticitätsgrenze. Auch die Geſtalt der Körper hat hierauf Einfluß, wie man am Glaſe ſieht, das in dünnen Fäden eine größere Elaſticitätsgrenze hat, als in Klumpen. Der innere Grund dieſer Verſchiedenheiten liegt höchſt wahrſcheinlich wieder in der verſchiedenen Geſtalt der Molekel und in ihrer gegenſeitigen Entfernung von einander.

Nach Lagerhjelm erleiden alle Arten Eiſen, ſie mögen hart, weich oder brüchig ſeyn, bei gleichen Dimenſionen durch gleiche Kräfte eine gleiche Dehnung und ſind gleich elaſtiſch; aber ihre Elaſticitätsgrenze iſt nicht dieſelbe, ſondern bei hartem Eiſen größer als bei weichem, bei Stahl größer als bei Eiſen. Durch Strecken wird die Elaſticitätsgrenze erweitert, aber die Elaſticitätsgröße unverändert gelaſſen. Folgende Zahlen verhalten ſich wie die Elaſticitätsmaße der beigeſetzten Stoffe: für Stangeneiſen 1070, für Stahl 1085, für Gußeiſen 658, für Kupfer 686, für gezogenes Meſſing 522, für gegoſſenes 325, für Silber 443, für Blei 118, für Glas 368. (Lagerjhelm's Verſuche über die Dichtigkeit, Elaſticität, Schmiedbarkeit und Stärke des Eiſens. Nürnberg, 1829.) Young, der den Begriff Elaſticitätsmodul zuerſt in die Phyſik einführte (*Lectures on natural phil. Tom. I. p. 137.*), verſteht darunter jene Zahl x, die ſich zu dem Gewichte p, das durch ſeinen Druck eine beſtimmte Verkürzung eines Körpers hervorbringt, ſo verhält, wie die Länge l des geänderten Körpers zur Verkürzung c; oder es iſt $x = \frac{pl}{c}$ Für $l = 1$ wird $x = \frac{p}{c}$ und in dieſer Bedeutung wird das Elaſticitätsmaß auch hier genommen.

168. Das Verhältniß der Größe der Dehnung oder Compreſſion, welche ein elaſtiſcher Körper innerhalb der Elaſticitätsgrenze von Kräften erleidet, zu dieſen Kräften, zeigen Verſuche, wie ſie s'Graveſande und Coulomb ꝛc. angeſtellt haben. Es wurden zu dieſem Zwecke 1) metallene Saiten durch angehängte Gewichte ausgedehnt, und die dadurch entſtandenen Verlängerungen gemeſſen. Solche Stan-

gen wurden freilich auch dünner, beſonders an einzelnen ſchwächeren Stellen, und die Theile mußten einander daſelbſt näher gekommen ſeyn, allein nach Cagniard Latour beträgt dieſe Verminderung der Dicke nur $^1/_2$ von der Vergrößerung der Länge; 2) Metallfedern zuſammengedrückt und ausgedehnt; 3) dünne Stäbe an einem Ende in horizontaler Lage befeſtiget und am anderen durch Gewichte gebogen; 4) Kugeln von Elfenbein, Kautſchuk oder Metall auf eine mit Fett dünn überzogene, ebene Platte von einer beſtimmten Höhe im freien Falle herabgelaſſen, und der beim Zuſammendrücken entſtandene, kreisrunde Fleck auf der Platte gemeſſen; 5) lange Drähte vertical am oberen Ende befeſtiget, am unteren durch ein Gewicht geſpannt, das mit einem horizontalen Zuge verſehen war, durch deſſen Bewegung der Draht ſelbſt um einen beſtimmten Winkel gedreht werden konnte. — Dieſe Verſuche geben das merkwürdige Reſultat, daß innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elaſticität alle räumlichen Veränderungen elaſtiſcher Körper den Kräften proportionirt ſind, durch die ſie hervorgebracht werden. Da aber dieſe Kräfte dem Widerſtande des elaſtiſchen Körpers gleich ſind; ſo kann man auch ſagen: Die räumlichen Veränderungen elaſtiſcher Körper ſind dem Widerſtande proportionirt, den die Elaſticität leiſtet.

169. Wird die Geſtalt eines feſten Körpers über die Elaſticitätsgrenze hinaus durch eine Kraft geändert, ſo treten entweder ſeine Theile in ein neues ſtabiles Gleichgewicht, und der Körper iſt in dieſem abermals elaſtiſch, hat aber meiſtens eine andere Größe und Grenze der Elaſticität, oder es erfolgt eine Trennung desſelben. Im erſten Falle heißt er dehnbar, im zweiten ſpröde; erleidet ein Körper ſchon durch ſehr geringe Kräfte eine bleibende Formveränderung, ſo heißt er weich; braucht er dazu eine ſehr große Kraft, ſo nennt man ihn hart. Hämmerbarkeit, Streckbarkeit ꝛc. ſind beſondere Formen der Dehnbarkeit. Die Größe der Dehnbarkeit wird durch die Verlängerung beſtimmt, welche ein Körper, ohne zu zerreißen, verträgt. Sie iſt von der Natur der Körper und von deren Temperatur abhängig, und überhaupt deſto größer, je höher letztere iſt. Sprödigkeit iſt als ein ſehr geringer Grad von Dehnbarkeit anzuſehen, und wird beſonders durch ſchnelles Abkühlen nach vorhergegangener Erhitzung erzeugt, wie beſonders das Glas zeigt, das, um nicht ſpröde zu ſeyn, ſtets eine ſehr langſame Abkühlung fordert. (Bologneſer-Fläſchchen, Glastropfen, Glaswürmer.) Der Grund dieſer Eigenſchaft feſter Körper liegt wieder ohne Zweifel in der polyedriſchen Geſtalt ihrer Molekel und in deren gegenſeitiger Entfernung. Gleichwie ein ſchweres Polyeder mehrere Lagen des ſtabilen Gleichgewichtes hat, deren immer eine durch eine labile Lage in die andere übergeht; ſo können auch polyedriſche, durch anziehende Kräfte zu einem Körper verbundene Molekel mehrere ſtabile Gleichgewichtslagen haben und aus einer in die andere übergehen, mithin dehnbar ſeyn. Je mehr Flächen die Molekel begrenzen und je weniger dieſe von einander abſtehen, deſto näher liegen die Lagen des ſtabilen Gleichgewichtes einander und deſto dehnbarer muß der Körper

ſeyn. Je kleiner die Stabilität und je näher die Stabilitätslagen einander ſind, deſto weicher wird ein Stoff ausfallen.

Nach Lagerhjelm iſt für Eiſen das Product aus der Elaſticitätsgrenze in die Quadratwurzel der Dehnbarkeitsgrenze eine conſtante Größe. — Nach der Größe der Hämmerbarkeit folgen die Metalle in folgender Ordnung auf einander, vom hämmerbarſten angefangen: Blei, Zinn, Gold, Zink, Silber, Kupfer, Platin, Eiſen. Nach der Größe des Widerſtandes beim Ausziehen zu Draht folgen die Metalle nach Karmarſch (Jahrb. des k. k. polyt. Inſt. 17. 393) ſo auf einander: Stahl hart gezogen, Eiſen, Meſſing, Gold geglüht, Stahl geglüht, Kupfer hart gezogen, 12löth. Silber geglüht, 14löth. Silber geglüht, Meſſing, Eiſen, Platin, Kupfer, feines Silber, Zink, feines Gold, Zinn, Blei. Nach der Leichtigkeit, mit der ſie ſich zu Blech walzen laſſen, ſtehen ſie in folgender Reihe: Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, Zink, Platin, Eiſen.

170. Werden die Theile eines Körpers über die Grenzen ſeiner Dehnbarkeit von einander entfernt, ſo erfolgt eine Trennung derſelben, weil ſie die Grenzen der Wirkungsſphäre der anziehenden Kraft überſchreiten, und der Körper wird zerriſſen, zerdrückt, zerbrochen oder endlich abgedreht. Beim Zerreißen wird der Körper an einem Ende vertical eingeſpannt und am anderen Ende ſo lange mit Gewichten belaſtet, bis er reißt. Dieſes Gewicht, um ſo viel vermehrt, als das abgeriſſene Stück ſelbſt wiegt, iſt zwar etwas größer als der Zuſammenhang der getrennten Theile, kann aber für die Größe des Zuſammenhanges angenommen werden, wenn man die dem Körper angehängte Laſt nur um kleine Unterſchiede wachſen ließ. Man kann das zum Zerreißen erforderliche Gewicht anfänglich beiläufig beſtimmen, und durch einen zweiten genaueren Verſuch verbeſſern. Beim Zerdrücken ſetzt man den Körper auf eine feſte Unterlage und belaſtet ihn von oben ſo lange, bis die Trennung erfolgt. Beim Zerbrechen wird er in horizontaler Lage an einem oder an beiden Enden befeſtiget und außer der unterſtützten Stelle belaſtet, bis der Zweck erreicht iſt. Beim Zerdrehen befeſtiget man ihn ebenfalls an einem Ende und bringt am anderen die Kraft an, welche nach der Tangente eines Kreiſes wirkt und ihn zu drehen ſucht. Dem Zerreißen müſſen Stricke, Ketten ꝛc., dem Zerdrücken Säulen, verticale Balken an Gebäuden, Brückenpfeiler, dem Zerbrechen alle Querbalken, dem Zerdrehen die Wellbäume an Rädern widerſtehen.

171. Die Größe der zum Zerreißen nöthigen Kraft hängt von der Cohärenz der Theile und vom Querſchnitte an der Trennungsſtelle ab. Sollen daher Zerreißungsverſuche auf die relative Größe der Cohärenz der Theile verſchiedener Körper zu ſchließen erlauben, ſo müſſen dieſe gleiche Querſchnitte haben, oder man muß die Reſultate durch Rechnung auf gleiche Querſchnitte reduciren.

Verſuche dieſer Art ſind von vielen Gelehrten angeſtellt worden; man beſchränkte ſich dabei aber vorzüglich auf Metalle, Holz und Stricke, weil man ſich von dieſen die größte Anwendbarkeit verſprechen konnte. Man fand, daß die Metalle im Allgemeinen eine größere Feſtigkeit haben, als die Hölzer, daß aber ſelbſt unter Metallen eine große Verſchiedenheit in Bezug auf Feſtigkeit Statt findet. Unter übrigens gleichen Um-

ſtänden ergibt ſich aus Muſchenbroek's Verſuchen folgende Ordnung der Metalle vom feſteſten angefangen: Eiſen, Silber, Kupfer, Gold, Zinn, Wismuth, Zink, Spießglanz, Blei. Gegoſſene Metalle ſind in der Regel ſchwächer als geſchmiedete; warme ſind wieder ſchwächer als kalte. Bei den meiſten Metallen hat ſchnelles Abkühlen eine große Veränderung der Feſtigkeit zur Folge, doch iſt dieſe Veränderung nicht für alle von derſelben Art. So wird z. B. Eiſen dadurch ſtärker, Kupfer ſchwächer. Mäßiges Hämmern ſtärkt, zu heftiges ſchwächt den Zuſammenhang, letzteres wahrſcheinlich deßhalb, weil es die Sprödigkeit ſo ſehr vermehrt, daß der geringſte, ungleich angebrachte Schlag kleine Riſſe erzeugt. Die chemiſche Miſchung ändert die Feſtigkeit bedeutend, und es kommt dabei nicht bloß auf die Verſchiedenheit der in der Miſchung enthaltenen Stoffe an, ſondern auch auf das Verhältniß ihrer Mengen. Dieſes beſtätigen die Compoſitionen zu Stückgut, Glockenſpeiſe, Tomback, Semilor. Oft reicht ein ſehr kleiner Zuſatz eines Stoffes hin, die Feſtigkeit ungemein zu verſtärken. So wird Eiſen durch Kohlenſtoff zu Stahl, und gewöhnlicher Stahl nach Faraday durch $^1/_5$ pCt. Silber, oder noch beſſer durch $^1/_2$ pCt. Rhodium ungemein verbeſſert. (Gilb. Ann. 69. 179.) Holz iſt ſchwächer als Metall; unter den gewöhnlichen Holzarten haben das Buchen- und Eichenholz die meiſte Feſtigkeit; alle weichen Holzarten ſind viel ſchwächer als die harten. Im Allgemeinen folgen die Hölzer nach ihrer Feſtigkeit ſo auf einander: Buche, Eſche, Linde, Ulme, Tanne, Fichte. Aber nicht jedes Holz deſſelben Namens hat auch dieſelbe Stärke: denn anders iſt die Feſtigkeit an Bäumen, die in Gebirgsgegenden wachſen, anders an jenen, die im flachen Lande fortkommen, ja an demſelben Baume haben Stamm, Aeſte und Wurzeln eine verſchiedene Feſtigkeit. Um die Feſtigkeit der Stricke zu erfahren, nahm man ſelbe von verſchiedener Dicke, aus einer verſchiedenen Anzahl von Litzen und Fäden beſtehend, von verſchiedenem Materiale gemacht, mehr oder weniger gedreht Den Verſuchen gemäß ſind Stricke von derſelben Dicke deſto ſtärker, je feiner der Flachs oder Hanf war, aus dem ſie beſtehen, und je weniger ſie zuſammengedreht ſind. Durch das Zuſammendrehen kommen die Fäden ſchon in einen geſpannten Zuſtand, den man ſo anſehen kann, als trügen ſie ſchon ein Gewicht. Deßhalb ſollen auch Stricke nicht mehr gedreht werden, als bis die Fäden dadurch $^1/_6$ ihrer Länge verloren haben. Man hat, um den durch das Zuſammendrehen entſtehenden Nachtheil zu beſeitigen, ſchlauchförmig gewebte Stricke empfohlen. Naſſe Hanfſeile und Baumwollgarne ſind ſtärker als trockene; ungetheerte ſtärker als getheerte. Geflochtene Schnüre ſind ſtärker als gedrehte, ungebleichte ſtärker als gebleichte, ſeidene ſtärker als leinene von derſelben Dicke; eine Schnur von Menſchenhaar iſt ſtärker, als eine eben ſo dicke von Pferdehaaren. — Nach Gerſtner's Verſuchen, die mit Clavierdrähten, Stahlſedern und Blechſtreifen angeſtellt wurden, herrſcht zwiſchen der dehnenden Kraft p und der dadurch bewirkten Dehnung e folgende Relation: $p = e(A - Be)$, wo A und B durch Verſuche zu beſtimmende Größen ſind. Daraus ergibt ſich für die größte Dehnung E die Gleichung $E = \frac{A}{2B}$ und für die größte dieſer Dehnung entſprechende Belaſtung $P = {}^1/_2\, AE$. (Gerſtner's Mechanik Bd. I. S. 263.)

172. Beim Zerdrücken fallen die Reſultate der Verſuche ſehr verſchieden aus, je nachdem der Körper lang oder kurz iſt. Am reinſten ſind ſie bei kurzen Körpern, weil dieſe ſich nicht biegen. Auch hier ändert ſich zuerſt der Körper durch Einwirkung der drückenden Kraft,

9*

er verkürzt ſich und wird dicker; ſo wie aber die Kraft die rechte Stärke erlangt hat, erfolgt der Bruch entweder dadurch, daß die oberen Theile wie Keile die unteren aus einander treiben, oder dadurch, daß die oberen über die unteren hinabgleiten. Harte, homogene und feinkörnige Steine zerfallen in Blätter oder in verticale Nadeln; einige Steine theilen ſich zuerſt in verticale Pyramiden, deren Spitzen einander zugekehrt ſind, und die keilförmig auf einander wirken, bis ſie ſich zu Staub zerdrückt haben. Die zum Zerdrücken nöthige Kraft wächſt mit dem Querſchnitte, und iſt bei einerlei Größe deſſelben deſto bedeutender, je kleiner der Umfang dieſes Querſchnittes iſt. Vergrößerung der Höhe vermindert den Widerſtand des Körpers.

173. Eine Kraft, die einen Körper zu **zerbrechen** ſucht, entfernt zuerſt die an der converen Seite liegenden Theile, und nähert die an der concaven liegenden; nur gewiſſe im Innern des Körpers liegende Theile behalten ihre natürliche Lage. Sind die Theile eines Querſchnittes ſo ſehr gedehnt, daß ſie ohne Trennung nicht mehr weiter von einander entfernt werden können, oder die verkürzten ſo ſehr einander genähert, daß ohne Zerdrücken keine weitere Annäherung mehr möglich iſt; ſo erfolgt bei der geringſten Vermehrung der Kraft ein Bruch. Dieſer zeigt ſich bei verſchiedenen Körpern auf verſchiedene Weiſe. Beim Glas, bei Steinen und gegoſſenen Metallen trennen ſich alle Theile eines Querſchnittes auf einmal; bei Hölzern findet nur an der am meiſten converen oder concaven Seite eine Trennung Statt; bei geſchmiedeten Metallen hängen die Theile noch nach dem Bruche an einander, und treten gleichſam in ein neues Gleichgewicht. Uebrigens richtet ſich die zum Zerbrechen nöthige Kraft nach den Dimenſionen des Körpers; ſie wächſt, wie die Breite und das Quadrat der Höhe zunimmt und die Länge abnimmt. Hohle Körper ſind im Verhältniſſe zu ihrer Maſſe ſtärker als maſſive, daher auch hohle Halme, Stängel und Knochen bei wenig Maſſe viel aushalten, und metallene hohle Säulen eine unglaubliche Stärke haben. (**Duhamel** in Erſch's und Gruber's Encykl. B. 18. 212.)

174. Wirkt eine Kraft ſo auf einen Körper, daß ſie ihn zu drehen ſucht, ſo werden die Theile außer dem befeſtigten Ende um einen Winkel gedreht, welcher deſto größer iſt, je mehr dieſe Theile vom feſten Ende abſtehen. Dadurch kommen jene, welche ſich in ihrer natürlichen Lage in einer geraden Linie befinden, in eine Schraubenlinie zu liegen, und entfernen ſich dabei von einander. Steigt dieſe Kraft ſo weit, daß die Theile nicht mehr weiter von einander entfernt werden können, ſo erfolgt bei der geringſten Steigerung derſelben ein **Abdrehen**.

175. Den bisher angeführten Erſcheinungen analog ſind diejenigen, welche man bei getrennten Körpern bemerkt, die an mehreren Puncten mit einander in Berührung gekommen ſind. Nimmt man zwei Bleiſtücke, gibt jedem eine ebene und metalliniſche Fläche, drückt ſie an dieſen zuſammen; ſo kann man ſie nur mit großer Kraft wieder von einander trennen. Eine Bleiplatte mit einer Zinnplatte oder eine Kupferplatte mit einer Silberplatte durch Glättwalzen gezogen, gibt

ein faſt untrennbares Ganzes. Zwei Stücke weiches Eiſen oder Platin laſſen ſich durch Hammerſchläge zuſammenſchweißen. Nach Hermbſtädts, Cavendiſhs und Anderer Verſuchen ſollen manche Körper ſchon in einiger Entfernung ein Beſtreben zur Vereinigung äußern.

176. Faßt man alles, was die in dieſem Kapitel angeführten Thatſachen und Geſetze in Betreff der Wirkungsweiſe der Molecularanziehung bei feſten Körpern lehren, zuſammen, ſo gewinnt man die Ueberzeugung: 1) daß die Molecularanziehung von der Natur der kleinſten Theile, denen ſie zukommt, und von ihrer Temperatur abhängt; 2) daß ſie wohl in die Entfernung wirkt, aber mit wachſender Diſtanz der betreffenden Theile ſehr ſchnell abnimmt und bei kaum merklicher Diſtanz ſchon als verſchwindend klein angeſehen werden muß; wegen der ungemeinen Kleinheit der Molekel und ihrer Entfernungen von einander kann es aber deßungeachtet ſeyn, daß ſich die Kraft eines Theilchens ſelbſt ohne merkliche Abnahme der Intenſität auf ſehr viele andere erſtreckt.

Dieſe wenigen Sätze machen die Baſis der von Poiſſon und Cauchy mit ſo gutem Erfolg angeſtellten, mathematiſchen Unterſuchungen über Gleichgewicht und Bewegung der Körper aus. *Mémoires de l'Acad. T. 8.* Siehe Link in Gilb. Ann. 25. 133; 47. 1; in Pogg. Ann. 8. 25; Mitis in Zeitſch. 3 1; 4. 129. Duleau's theor. pract. Verſuche über den Widerſtand des geſchmiedeten Eiſens. Aus dem Franzöſ. Leipzig, 1825. Tredgold über die Feſtigkeit des Gußeiſens. Aus dem Engl. Leipzig, 1826. Ampère in Pogg. Ann. 26. 161. Frankenheim, die Lehre von der Cohäſion ꝛc. Breslau, 1835. Von den älteren Werken hierüber ſind vorzüglich zu bemerken: *Muschenbroek introd. in cohaerent. corp. firm. Lugd. Bat. 1725. G. s'Gravesande elementa physicae. Leidae, 1742. pag. 367. c. s.*

Fünftes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an tropfbaren Körpern (Hydroſtatik).

A. Ueber Flüſſigkeiten überhaupt, über tropfbare insbeſondere.

177. Das Weſen des flüſſigen Zuſtandes beſteht in der abſolut leichten (d. h. durch die kleinſte denkbare Kraft bewirkbaren) Verſchiebbarkeit der Theile nach allen Richtungen. Sie kann offenbar nur in Körpern Statt finden, deren Molekel ſo weit von einander entfernt ſind, daß die Wirkung jedes einzelnen rings um den Mittelpunct ſeiner Maſſe von gleicher Stärke iſt, und demnach ſo erfolgt, als wären dieſe Theilchen ſphäriſch. Die abſolute Verſchiebbarkeit der Theile iſt die Grundlage aller Unterſuchungen über Gleichgewicht und Bewegung flüſſiger Körper, und alle mechaniſchen Erſcheinungen ſolcher Körper ſind Folgen dieſer Eigenſchaft und der auf die kleinſten Theile wirkenden Kräfte.

178. Eine natürliche Folge der abſoluten Verſchiebbarkeit der

Theile iſt, daß ſich in einer flüſſigen Maſſe die Wirkung einer Kraft, welche nur nach einer beſtimmten Richtung zielt, nach allen Richtungen mit gleicher Stärke fortpflanzt. Man denke ſich in einem von allen Seiten geſchloſſenen Gefäße ABCD (Fig. 44) eine Flüſſigkeit, z. B. Waſſer (von deſſen Schwere man vor der Hand abſehen kann) und über einer Oeffnung GH deſſelben einen dicht anſchließenden Kolben EFGH, der mit der Kraft P abwärts gedrückt wird. Dieſer Druck wirkt zwar unmittelbar nur auf die Waſſertheilchen, welche die untere Kolbenfläche berühren, pflanzt ſich aber durch dieſe nach allen Richtungen fort. Die nach abwärts gerichtete Fortpflanzung iſt für ſich klar, weil nach dieſer Richtung die Kraft P wirkt; aber wegen der Fähigkeit jedes einzelnen Theilchens, nach allen Richtungen gleich leicht auszuweichen, muß ſie auch nach den Seitenwänden erfolgen, und zwar wird jedes Stück ſowohl des Bodens CD, als auch der Wände AD, BC, AH, GB, welches der Kolbenfläche GH an Flächeninhalt gleich iſt, mit der Kraft P auswärts gedrückt. Verhält ſich daher die Fläche GH zur Fläche des Stückes LM der Seitenwand BC, wie a zu b, und nennt man den Druck, welchen LM in Folge der Einwirkung der Kraft P auf GH leidet, Q, ſo beſteht die Proportion $P:Q = a:b$. Denkt man ſich eine Oeffnung bei LM, und dieſe durch einen Kolben geſchloſſen, auf den die Kraft Q nach einwärts wirkt, ſo halten die Kräfte P und Q einander das Gleichgewicht. Eine Vorrichtung dieſer Art läßt ſich demnach als eine einfache Maſchine betrachten, wobei das Gefäß ABCD jede beliebige Form haben, und die Oeffnungen GH, LM an beliebigen Stellen deſſelben angebracht ſeyn können.

Den Satz der allſeitigen Fortpflanzung des Druckes in Flüſſigkeiten hat zuerſt Paſcal um die Mitte des 17. Jahrhunderts der Theorie ihres Gleichgewichtes zum Grunde gelegt.

179. Eine weitere Folge der abſoluten Verſchiebbarkeit der Theile iſt, daß eine flüſſige Maſſe nur dann im Gleichgewichte ſtehen kann, wenn ſich die auf jedes einzelne Theilchen wirkenden Kräfte für ſich im Gleichgewichte befinden, mithin wenn ſich dieſe Kräfte ſelbſt aufheben oder durch einen Widerſtand aufgehoben werden. Einen ſolchen Widerſtand leiſten die Wände der Gefäße durch ihre Feſtigkeit, auch die Theile tropfbarer Flüſſigkeiten durch ihre Unzuſammendrückbarkeit; bei den Theilen ausdehnſamer Flüſſigkeiten wirkt ihr Beſtreben, ſich auszudehnen, den äußeren Kräften entgegen. Hieraus kann man nun klar einſehen, daß das Gleichgewicht einer flüſſigen Maſſe nicht geſtört wird, wenn man einen Theil derſelben durch eine feſte Wand erſetzt, welche durch ihre Feſtigkeit dasſelbe leiſtet, was die von ihr verdrängten flüſſigen Theile durch ihre Unzuſammendrückbarkeit oder Ausdehnſamkeit zu leiſten vermochten; oder umgekehrt, wenn man an die Stelle einer feſten Wand flüſſige Theile ſetzt.

180. Befindet ſich eine Flüſſigkeit in einem offenen Gefäße, ſo muß im Stande des Gleichgewichtes die Oberfläche ſo geſtaltet ſeyn, daß die Richtungen der auf ſie wirkenden Kräfte auf ihr ſenkrecht ſtehen; denn widrigenfalls könnte jede Kraft in zwei zerlegt werden,

wovon eine in der zu ihrem Angriffspuncte gehörigen Berührungsebene wirken, und daher ein Hingleiten der Theile längs derſelben verurſachen würde.

181. Nach dieſen Geſetzen richten ſich alle flüſſigen Körper, ſowohl die tropfbaren als die ausdehnſamen, weil ſie auf einer Eigenſchaft beruhen, die beiden gemeinſchaftlich zukommt; doch gibt es ſowohl für die einen als für die anderen Körper auch beſondere Geſetze, und dieſe müſſen durch jene Eigenſchaften beſtimmt werden, auf denen das Weſen des tropfbaren oder ausdehnſamen Zuſtandes beruht. — Tropfbare Körper, von denen hier vorzugsweiſe gehandelt werden ſoll, ſind ſo ſchwer zuſammendrückbar, daß nur ſehr große Kräfte eine merkliche Compreſſion bewirken, und ſie für mäßige Kräfte als völlig unzuſammendrückbar angeſehen werden können. Dieſe Eigenſchaft begründet das Daſeyn eigenthümlicher Geſetze für ſolche Körper.

Auf der in 178 beſprochenen Fortpflanzung des Druckes und der Unzuſammendrückbarkeit einer Flüſſigkeit beruht die Bramah'ſche Preſſe. (Fig. 45 a, von Außen und 45 b, im Durchſchnitte.) Dieſe beſteht im Weſentlichen aus zwei verticalen, cylindriſchen, mit Waſſer gefüllten Gefäßen A und B von ungleichen Durchmeſſern, die mittelſt einer horizontalen Röhre C mit einander verbunden ſind, und in deren jedem ſich ein Kolben bewegt. Wird der Kolben des engeren mittelſt eines Hebels D auch nur mit mäßiger Kraft herabgedrückt, ſo wirkt dieſer Druck verſtärkt auf den größeren Kolben. Damit beim Zurückziehen des kleineren Kolbens der größere nicht zurückgehen könne, iſt in der Verbindungsröhre beider Cylinder eine Klappe a angebracht, welche dem Waſſer vom engeren Cylinder in den weiteren zu gehen geſtattet, aber nicht umgekehrt. Um mit jedem Spiel des kleineren Kolbens den größeren vorwärts zu bringen, iſt mit jenem ein Waſſergefäß mittelſt einer Klappe b in Verbindung, aus welchem bei jedem Hub des kleineren Kolbens eine neue Portion Waſſer in den Cylinder dringt, ohne beim Sinken des Kolbens wieder in dasſelbe Gefäß zurückkehren zu können. Nur wenn man die Communication zwiſchen dem größeren Cylinder und dem Waſſergefäße durch Umdrehen eines Hahnes c herſtellt, kann das Waſſer wieder aus jenem in dieſes gelangen, worauf der Kolben durch ſein eigenes Gewicht ſinkt und dem Druck auf den Körper, welcher ſich zwiſchen der Kolbenplatte E und dem Gerüſte der Preſſe F befindet, ein Ende macht. Es iſt leicht, die Kraft zu berechnen, mit welcher ein beſtimmter, unmittelbar am äußerſten Hebelarme angebrachter Druck auf den größeren Kolben wirkt. Iſt D der Durchmeſſer des größeren, d derjenige des kleineren Kolbens, A der längere, a der kürzere Hebelarm; ſo wird die am Hebelende wirkende Kraft p durch den Hebel in dem Verhältniſſe $a:A$, durch die ungleiche Dicke der Kolben in dem Verhältniſſe $d^2:D^2$ verſtärkt, und wirkt daher auf den größeren Kolben mit der Stärke $p\,.\,\frac{D^2 A}{d^2 a}$. Man braucht dieſe Preſſe heut zu Tage häufig in Tuchfabriken, Papiermühlen; auch zum Heben großer Laſten wird ſie verwendet.

182. Starke Kräfte bewirken an tropfbaren Flüſſigkeiten eine Compreſſion, die bis zu einer gewiſſen Grenze der Kraft proportionirt iſt, auch kehrt, wenn dieſe Kraft zu wirken aufhört, das vorige Volum wieder zurück. Solche Körper ſind alſo vollkommen elaſtiſch. Dieſes

hat zuerſt Herbert (Prof. an der Univerſität zu Wien) bewieſen, und Pfaff, Perkins, Oerſted, vorzüglich aber Colladon und Sturm haben es beſtätiget. Herbert bediente ſich des Apparates (Fig. 46), wo A eine hohle, an eine enge Röhre a angeblaſene Glaskugel von bekannter Capacität, B eine erweiterte, aber unter einem rechten Winkel gebogene Fortſetzung der Röhre a iſt. Die Kugel A befindet ſich in einem waſſerdichten Gefäße C, an deſſen oberer Wand ſich ein Rohr d, von gleichem Durchmeſſer mit a, erhebt. Wird die Kugel A ſammt einem Stück der engen Röhre bis a, ſo wie das die Kugel umgebende Gefäß C bis d mit Waſſer oder einer anderen Flüſſigkeit gefüllt, und hierauf durch das Rohr B Queckſilber nachgegoſſen, um jene Flüſſigkeit zuſammenzudrücken; ſo braucht man nur den Weg ab, um welchen die Flüſſigkeit in der Röhre zurückgewichen, und den Weg de, um welchen ſie im Gefäße C geſtiegen iſt, zu meſſen, und den Unterſchied der Volume ab — de mit dem Volum der Flüſſigkeit vor dem Verſuche zu vergleichen. Da nämlich das Zurückweichen der Flüſſigkeit von a nach b von der Compreſſion derſelben und von der Ausdehnung der Kugel A, das Steigen de aber bloß von letzterer Urſache herrührt; ſo iſt ab — de offenbar die Größe der Compreſſion, welche die Flüſſigkeit erlitten hat. Theilt man das dieſer Größe entſprechende Volum durch jenes der Flüſſigkeit vor der Compreſſion, ſo erhält man die Größe der Compreſſion. Nach dem Vorgange oben genannter neueren Phyſiker bringt man die zu comprimirende Flüſſigkeit in einen Behälter von Glas, welcher einem Thermometergefäße ähnlich, in eine Röhre ausläuft, die mit einer Volumſcala verſehen iſt. Dieſen Behälter ſtellt man in ein größeres, mit derſelben Flüſſigkeit gefülltes cylindriſches, ſehr ſtarkes Glasgefäß, das an einem Ende geſchloſſen, am anderen Ende aber mit einer Druckpumpe verſehen iſt, um damit ein neues Flüſſigkeitsquantum hinein zu treiben, und hiedurch auf die in beiden Gefäßen enthaltene Flüſſigkeit einen Druck auszuüben. Die Flüſſigkeit im inneren Gefäße reicht bis in die enge Röhre hinein, und iſt von der äußeren Flüſſigkeit durch Queckſilber abgeſperrt. Hiedurch kann das Volum, welches die Flüſſigkeit im inneren Gefäße bei verſchiedenen Graden der Compreſſion einnimmt, leicht beſtimmt werden, und dieſes Volum wäre, wenn das Glas als ein unzuſammendrückbarer Stoff betrachtet werden dürfte, reines Ergebniß des Druckes, da dann das Gefäß ſelbſt, welches von außen und innen denſelben Druck erfährt, keine Volumsänderung erleiden würde. Da aber dieſe Annahme nicht zuläßig iſt, ſo muß man die Compreſſion des Glaſes, wodurch die Reſultate vergrößert werden, in Rechnung bringen. Um die Größe des Druckes in jedem Augenblicke angeben zu können, wird in das äußere Gefäß ein mit Luft gefülltes und durch Queckſilber geſperrtes Rohr geſetzt, und aus der, durch die Volumſcala, womit es verſehen iſt, angezeigten Compreſſion der Luft, mit Rückſicht auf die Compreſſion des Glaſes (nach dem ſpäter zu erklärenden Mariotte'ſchen Geſetze) auf die Größe des Druckes geſchloſſen, unter dem dieſe Luft, mithin auch

die Flüſſigkeit in dem vorhin beſchriebenen Gefäße ſteht. (Mitſcherlich's Lehrbuch der Chemie, zweite Auflage, S. 280.) Folgende Tabelle gibt die Reſultate ſolcher Verſuche in Milliontheilchen des urſprünglichen Volums für den Druck von einer Atmoſphäre (ungefähr 12½ Pfd. für 1 Q. Zoll Fläche) an:

Queckſilber bei 0° C .	= 5,03	Waſſer mit Ammoniak geſättiget	= 38
Luftleeres Waſſer bei 0° C	= 51,3	Salpeteräther bei 0° C	= 71,5
Waſſer, Luft haltend		Salzäther bei 11°,2 C	= 85,9
bei 0° C	= 49,5	Schwefelſ. conc. bei 0° C	= 32
bei 10° C	= 44,7	Eſſigſäure bei 0° C .	= 42,2
bei 16° C	= 42,7	Salpeterſäure von 1,403 ſp. G. bei 0° C . .	= 32,2
bei 3,75° C	= 46,1	Terpentinöhl bei 0° C	= 73
Alkohol bei 11°,6 C .	= 96,2	Eſſigäther bei 12° C .	= 97,3
Schwefeläther bei 0° C	= 133—122		
bei 11° C	= 150—141		

Alkohol, Schwefeläther, Eſſigäther und Salzäther werden nicht für gleiche Zunahmen der comprimirenden Kräfte um gleich viel zuſammengedrückt, ſondern ihre Compreſſibilität nimmt ab, wenn die Flüſſigkeit ſchon ſtark comprimirt iſt (Zeitſch. 5. 236.) — Tropfbare Flüſſigkeiten verhalten ſich bei der Compreſſion etwas anders als feſte Körper. Jene erleiden nach allen Richtungen dieſelbe Compreſſion, ſo daß die Molekel, welche vor dem Zuſammendrücken in der Oberfläche einer Kugel lagen, auch nach der Compreſſion in einer ſolchen, aber kleineren Oberfläche liegen, während feſte Körper durch eine drückende Kraft nach verſchiedenen Richtungen eine verſchiedene Compreſſion erleiden, ja oft nach einer Richtung einer Compreſſion, nach einer anderen zugleich einer Dilatation unterliegen. (Colladon und Sturm in Pogg. Ann. 12. 39. Oerſted ebend. 9. 603; 12. 158 und 513; 31. 361.)

183. Der Zuſtand der vollkommenen Flüſſigkeit wird durch die abſolut leichte Verſchiebbarkeit der Molekel charakteriſirt. Die Naturkörper, welche die Verſchiebbarkeit der Molekel nicht in dieſem hohen Grade beſitzen, können daher auch nicht für vollkommene Flüſſigkeiten gelten. Unter den tropfbaren Stoffen nähert ſich dieſem mathematiſchen Zuſtande am meiſten die comprimirte Schwefelwaſſerſtoffſäure, dann comprimirter Kohlenwaſſerſtoff; mehr entfernt davon ſteht das Waſſer und noch mehr die fetten Oehle. Manche Körper weichen von dem Zuſtande der vollkommenen Flüſſigkeit gar weit ab, und erſcheinen in einer Art Mittelzuſtand zwiſchen Feſtigkeit und Flüſſigkeit, wie z. B Honig, viele Oehle. Dieſer Zuſtand hängt von einer ſolchen Annäherung der Theile an einander ab, bei welcher die Ungleichheit der Molecularkraft nach verſchiedenen Richtungen ſchon merklich zu werden anfängt, oft aber auch davon, daß ſolche Körper Gemenge eines flüſſigen und eines fein zertheilten, feſten Stoffes ſind, wie dieſes bei erkaltenden fetten Oehlen der Fall iſt, bei welchem das Stearin eher feſt wird als das Elain.

Man kann daher allerdings auch Grade der Flüſſigkeit annehmen und der Meſſung unterwerfen, indem man derſelben ein Phänomen, welches von der größeren oder geringeren Verſchiebbarkeit der Flüſſigkeitstheilchen abhängt, z. B. die Menge der Flüſſigkeit, welche binnen einer feſtgeſetzten Zeit aus einem enghalſigen Gefäße abfließt, zum Grunde legt.

184. Die Geſetze des Gleichgewichtes tropfbarer Flüſſigkeiten laſſen ſich aus der bloßen Leichtigkeit der Verſchiebung ihrer Molekel und aus der Schwierigkeit dieſe einander näher zu bringen vollſtändig ableiten, ſobald man nur auf die Kräfte, welche die Molekel beherrſchen, gehörig achtet. Nach dem, was im vorhergehenden Abſchnitte gelehrt wurde, überzeugt man ſich leicht, daß hier folgende Kräfte in Betrachtung zu ziehen ſind. 1) Die Schwere; 2) die Molecularkräfte der Flüſſigkeit ſelbſt; 3) die Molecularkräfte, welche fremdartige, an die Flüſſigkeit grenzende Körper auf letztere ausüben. Hiezu kommt noch in den meiſten Fällen 4) ein äußerer Druck. Gewöhnlich hat die Schwere über die genannten Molecularkräfte ein ſo entſchiedenes Uebergewicht, daß die Wirkungen letzterer gegen erſtere verſchwinden, und man daher eine tropfbare Flüſſigkeit ſo behandeln darf, als wäre ſie ein Aggregat ſchwerer, gegen einander und gegen die Gefäßwände ganz indifferenter Partikel, dergeſtalt daß die Tropfenbildung ganz hinwegfällt, und die Benennung: »tropfbare Flüſſigkeiten« unpaſſend wird. Hiezu fügt man zur Erleichterung der theoretiſchen Unterſuchung noch abſolut leichte Verſchiebbarkeit dieſer Partikel und Unzuſammendrückbarkeit der von ihnen gebildeten Maſſe, ja man abſtrahirt ſogar von der Poroſität und nimmt die Sache ſo, als erfüllte die Flüſſigkeit ihren Raum mit Stetigkeit. In der That wird man, wenn man ſich die Beſchaffenheit gewöhnlicher tropfbarer Flüſſigkeiten, z. B. des Waſſers, Weingeiſtes u. dgl. vor Augen hält, wohl keinen Grund finden, aus welchem man befürchten ſollte, aus dieſen Vorausſetzungen unbrauchbare oder von der Erfahrung ſichtlich abweichende Reſultate hervorgehen zu ſehen. Allein in anderen Fällen darf man die Kräfte, welche die Molekel gegen einander, und die Gefäßwände gegen ſie äußern, nicht bei Seite ſetzen, da ſie den Hergang der Erſcheinungen weſentlich beſtimmen. Darnach zerfällt die Unterſuchung des Gleichgewichtes tropfbarer Flüſſigkeiten in zwei Theile, in deren erſterem die Molecularkräfte noch unbeachtet bleiben, während ſie im zweiten in gehörige Betrachtung gezogen werden.

B. Geſetze des Gleichgewichtes tropfbarer Körper, ohne Rückſicht auf Molecularkräfte.

185. Befindet ſich eine ſchwere Flüſſigkeit in hinreichender Menge in einem Gefäße, ſo muß der Druck der oberen Theile auf die unteren ein Auseinanderfließen der tropfbaren Maſſe bewirken, das nur durch den Widerſtand des Gefäßes aufgehoben wird. Deßhalb nehmen tropfbare Flüſſigkeiten in größerer Menge immer die Form des Gefäßes an, worin ſie ſich befinden. Iſt dieſes Gefäß offen, ſo muß ſich die Geſtalt der Oberfläche der Flüſſigkeit einem Kugelſegmente in dem Maße nähern, in welchem ſich die Geſtalt der Erde einer Kugel nähert; denn nur in dieſem Falle ſteht die Richtung der Schwere jedes Theilchens auf der Oberfläche ſenkrecht (180). In kleinen Gefäßen kann man die Richtungen der Schwere für parallel halten, und daher, in ſofern nämlich von der Molecularaction der Gefäßwände auf die Flüſſigkeit keine

Rede iſt, annehmen, die Oberfläche der Flüſſigkeit liege in einer horizontalen Ebene. Dieſe Ebene heißt der Spiegel oder das Niveau der Flüſſigkeit.

186. Durch die Schwere erleiden alle Theile einer Flüſſigkeit einen Druck nach abwärts, und daher (wegen 178) auch einen Druck nach allen Seiten. Um dieſen Druck für ein Theilchen im Innern der Maſſe ermeſſen zu können, denke man ſich in ihr ein ſolches, unendlich kleines Theilchen a (Fig. 47), von dem man leicht ſieht, daß es durch das Gewicht der Säule ab abwärts, mithin auch eben ſo ſtark ſeitwärts und aufwärts gedrückt wird. Es hängt daher dieſer Druck von der Tiefe des Theilchens a unter der Oberfläche der Flüſſigkeit ab, und Theilchen, die in einer mit der Oberfläche parallelen Fläche (mithin bei kleinen Maſſen in derſelben horizontalen Ebene) liegen, erleiden einen gleichen Druck nach allen Seiten. Daß kein Theilchen ausweicht, kommt vom Gegendruck der übrigen her.

187. Iſt Fig. 48 ein bis AB mit einer Flüſſigkeit gefülltes Gefäß und AB horizontal; ſo kann man im Inneren eine feſte Wand CED entſtehen laſſen, ohne daß dadurch dem Gleichgewichte Abbruch gethan wird (179). Es werden daher auch im Gefäße ACEDB die Oberflächen der Flüſſigkeit AC und BD in derſelben Horizontalebene liegen, mögen übrigens die Wände des Gefäßes wie immer beſchaffen ſeyn. Gefäße, bei denen der Uebergang von einem in das andere nicht geſperrt iſt, heißen Communicationsgefäße, und eine ruhige Flüſſigkeit ſteht in ſolchen daher immer gleich hoch.

Hierauf beruht das Aufſteigen des Waſſers ſowohl in den gewöhnlichen als in den ſogenannten Arteſiſchen Brunnen, des Grundwaſſers in Flüſſen, auch die Einrichtung der gewöhnlichen Lampen und der dochtloſen Nachtlämpchen (Pogg. Ann. 10. 624.) u. ſ. w.

188. Wenn ein Gefäß, wie Fig. 49, mit geradlinigem, horizontalen Boden CD, und verticalen Wänden AC und BD von einer Flüſſigkeit erfüllt iſt, ſo drückt jedes Theilchen auf den Boden; es wird daher der geſammte Bodendruck P gleich ſeyn dem abſoluten Gewichte der Flüſſigkeit, mithin dem Producte aus der Baſis B des Gefäßes, in die Höhe A der Flüſſigkeit und in ihr ſpecifiſches Gewicht S, oder es iſt $P = ABS$. Dasſelbe gilt auch für jedes andere Gefäß von was immer für einer Geſtalt, und der Bodendruck iſt von der Menge der Flüſſigkeit ganz unabhängig und richtet ſich nur nach der Baſis, der Höhe und dem ſpecifiſchen Gewichte derſelben. Denn es ſey (Fig. 50) das Gefäß ABCD mit einer Flüſſigkeit bis AB gefüllt, und man denke es ſich als ein Stück eines Communicationsgefäßes ABEF. In dieſem wird offenbar Gleichgewicht herrſchen, ſobald die Flüſſigkeit bis AB und EF reicht, es mag nun das unregelmäßige Gefäß ABCD, oder das regelmäßige, mit verticalen Wänden verſehene GCDH den zweiten Arm ausmachen. In beiden Fällen wird CD von oben nach unten und von unten nach oben mit gleichen Kräften gedrückt. Aber der Druck von unten nach oben bleibt, ſo lange an dem Schenkel CDEF nichts geändert wird, ſtets derſelbe; es muß daher dasſelbe auch von

dem Drucke gelten, den EF von oben nach unten erleidet. Es iſt alſo der Druck auf CD in beiden Gefäßen gleich groß. Ein beſtimmter Druck einer ruhenden Flüſſigkeit auf die horizontale Baſis = 1 fordert demnach nur eine beſtimmte Höhe der drückenden Säule. Man nennt ſie die hydroſtatiſche Druckhöhe. Auf dem Bodendrucke beruhen der anatomiſche Heber und ſeine Benützung als Wage, die Waſſerſäulenmaſchine, Real's Preſſe ꝛc.

Der anatomiſche Heber (Fig. 51) iſt ein Communicationsgefäß mit zwei ungleich hohen und ſehr ungleich weiten Armen, wovon der weitere und kürzere mit einer Blaſe verbunden, der längere und engere aber offen und zur Aufnahme jenes Waſſers beſtimmt iſt, welches die Blaſe über den weiteren Arm ſpannen, oder ein darauf liegendes Gewicht heben ſoll.

Die Waſſerſäulenmaſchine unterſcheidet ſich vom anatomiſchen Heber dadurch, daß der weitere Arm durch einen wohlanliegenden Kolben geſchloſſen iſt, der durch den Druck des Waſſers aufwärts bewegt wird, nach Abfluß desſelben aber (welches durch einen eigenen Hahn, oder einen Hilfskolben bewerkſtelliget wird), durch ſein eigenes Gewicht ſinkt, wenn nicht die Einrichtung ſo getroffen iſt, daß ihn auch nach dieſer Richtung eine Waſſerſäule treibt. (Baumgartner's Mechanik. Wien 1834. S. 257.)

Real's Preſſe (Fig. 52) iſt ein weiter Cylinder mit zwei ſiebartig durchlöcherten Platten a, b, der oben mit einer hohen, engen Anſatzröhre c verſehen iſt, um das Waſſer aufzunehmen, welches beſtimmt iſt, auf die im Cylinder befindliche, auszupreſſende Subſtanz einen Druck auszuüben.

189. Mittelſt der vorhergegangenen Berechnung des Bodendruckes iſt man im Stande zu beweiſen, daß ſich die Höhen der Säulen ungleichartiger, in Communicationsgefäßen im Gleichgewichte ſtehenden Flüſſigkeiten verkehrt, wie ihre ſpecifiſchen Gewichte, verhalten. Gießt man in das Gefäß Fig. 53 z. B. Queckſilber, ſo daß es bis A und B reicht; ſo wird es im Gleichgewicht ſtehen, wenn A und B in einer horizontalen Ebene liegen (185). Gießt man nun auf A irgend eine andere, leichtere Flüſſigkeit, z. B. Weingeiſt, bis C, ſo wird deßhalb das Queckſilber von A bis D zurückweichen, hingegen im anderen Schenkel bis E ſteigen. Man denke ſich D und F in derſelben Horizontalebene, bezeichne die Höhe der Säule DC mit A, die der Säule FE mit a, das ſpecifiſche Gewicht des Queckſilbers mit s, das des Weingeiſtes mit S, den Röhrenquerſchnitt bei D mit b; ſo iſt der Druck auf dieſe Ebene von Seite des Queckſilbers gleich abs, von Seite des Weingeiſtes gleich AbS (188), und man hat

$$abs = AbS, \text{ mithin } a : A = S : s$$

190. Daß jeder Punct der Seitenwand eines mit Flüſſigkeit gefüllten Gefäßes M (Fig. 54) einen Druck erleidet, erſieht man leicht aus 178. Die Größe dieſes Druckes richtet ſich offenbar nach der Tiefe des gedrückten Theils unter der Oberfläche der Flüſſigkeit. Deßhalb wird der Druck auf ein ſehr kleines Flächenſtückchen bei E durch die Säule GE, jener auf ein eben ſolches Flächenſtückchen bei F durch die Säule HF gemeſſen. Ein Stück der Seitenwand, deſſen höchſter

Punct in der Tiefe EG und deſſen tiefſter Punct in der Tiefe FH unter der Oberfläche der Flüſſigkeit ſteht, erleidet alſo einen Totaldruck, der dem Gewichte einer Flüſſigkeitsſäule gleichkommt, deren Baſis die Fläche des gedrückten Stückes, deren Höhe größer als GE und kleiner als HF iſt, überhaupt aber mittelſt Elementarrechnung nicht immer gefunden werden kann.

Wenn man überhaupt von dem Drucke ſpricht, den eine Flüſſigkeit an irgend einer Stelle der Seitenwand oder des Bodens, oder einer im Inneren angenommenen Fläche äußert, ſo meint man den Druck, den die Fläche = 1 erleiden würde, wenn jedes unendlich kleine Theilchen derſelben genau ſo belaſtet wäre, wie ein gleiches unendlich kleines Flächenſtückchen an der in das Auge gefaßten Stelle in der Flüſſigkeit wirklich belaſtet iſt. Nennen wir den auf dieſe Weiſe erhaltenen Geſammtdruck auf die Flächeneinheit Q, den Druck, der auf ein unendlich kleines Flächenſtückchen ω ſowohl an der bezeichneten Stelle, wie auch auf der Flächeneinheit Statt findet, q, ſo iſt offenbar $Q : q = 1 : \omega$ mithin $Q = \frac{q}{\omega}$. Man hat alſo ſtreng genommen den Druck Q als die Grenze zu betrachten, der ſich der Quotient $\frac{q}{\omega}$ unendlich nähert, wenn man das Flächenſtückchen ω, und im Einklange damit auch q, ins Unendliche verkleinert denkt.

Aus der Berechnung des Seitendruckes leitet man die Vorſchriften für Anlegung der Dämme, Schleuſen ꝛc. ab.

191. Durch den Seitendruck bekommt der gedrückte Theil ein Beſtreben, ſich nach der Richtung des Druckes fort zu bewegen; es kommt aber gewöhnlich zu keinem Erfolge, weil ein gegenüberſtehender Theil einer hinlänglich feſten Wand ein gleiches Beſtreben nach entgegengeſetzter Richtung erhält. Bringt man aber auf einer Seite der Wand eine Oeffnung an, ſo findet daſelbſt kein Druck mehr Statt, und die gegenüberſtehende Seitenwand muß ſich fortbewegen. Dieſes zeigt die Erfahrung am Segner'ſchen Rade.

Segner's Rad beſteht aus einem verticalen, cylindriſchen Gefäße (Fig. 55), welches um eine verticale Axe beweglich iſt, und unten zwei oder mehrere horizontale, gleichſam ein Rad bildende, am Ende ſeitwärts gebogene Ausflußröhrchen hat. Das durch dieſelben aus dem Cylinder fließende Waſſer ſetzt ihn nach einem der Richtung des Ausfluſſes entgegengeſetzten Sinne in drehende Bewegung.

192. Befindet ſich ein fremdartiger Körper in einer Flüſſigkeit, ſo erleidet er denſelben Druck nach allen Seiten, welchen die Flüſſigkeit an ſeinem Platze erleiden würde. Der Druck ſeitwärts wird durch einen gleichen Gegendruck aufgehoben, der Druck aufwärts übertrifft aber den nach unten gerichteten um das Gewicht der vom eingetauchten Körper verdrängten Flüſſigkeit. Um dieß einzuſehen, denke man ſich im Gefäße M (Fig. 54), welches bis AG voll iſt, einen Theil N der darin befindlichen Flüſſigkeit von beliebigem Volum und beliebiger Geſtalt. Auf der Begrenzung deſſelben wähle man irgend ein unendlich

kleines Flächenſtückchen a, und betrachte dieſes als Baſis eines verticalen Cylinders, der aufwärts und abwärts fortgeſetzt, die Oberfläche der Flüſſigkeit in c, die Begrenzung des Flüſſigkeitsſtückes N aber noch einmal in b treffe. Offenbar erleidet a von der N umgebenden Flüſſigkeit einen abwärts gerichteten Druck, der dem Gewichte der Säule ac und b einen aufwärts gerichteten Druck, der dem Gewichte bc entſpricht. Letzterer übertrifft erſteren um das Gewicht der Säule ab, und man kann ſich vorſtellen, daß dieſe durch den aufwärts wirkenden Unterſchied beider Druckkräfte getragen werde. Ein Gleiches läßt ſich von jeder andern in N vorhandenen verticalen Flüſſigkeitsſäule a′b′ ſagen; es wird demnach die Flüſſigkeitsmaſſe N durch den aufwärts wirkenden, ihrem Gewichte gleichen Unterſchied der Druckkräfte, welche ſie von der umgebenden Flüſſigkeit nach aufwärts und abwärts erfährt, im Gleichgewichte erhalten. Das Gewicht der Flüſſigkeit in N iſt im Schwerpuncte derſelben vereinigt; durch dieſen muß daher auch der aufwärts gerichtete Druck gehen. Durch eine ähnliche Betrachtung läßt ſich zeigen, daß aus der Action der umgebenden Flüſſigkeit auf N keine horizontal wirkende Kraft hervorgehe, indem jeder auf ein Theilchen der Begrenzung von N Statt findende horizontale Druck durch den auf ein gegenüberliegendes Theilchen ausgeübten aufgehoben wird. Dasſelbe, was hier mit der Flüſſigkeit in N geſchieht, muß auch für jeden fremdartigen Körper, der in dieſelbe getaucht iſt und das Volum N hat, gelten. Man kann deßhalb von jedem in eine Flüſſigkeit getauchten Körper behaupten, daß alle auf ſeine Oberfläche wirkenden Kräfte eine einzige Reſultirende haben, die vertical aufwärts durch den Schwerpunct der aus ihrem Raume verdrängten Flüſſigkeit geht, und gleich iſt dem Gewichte dieſer Flüſſigkeit.

193. Eine natürliche Folge des vorhergehenden Satzes iſt, daß jeder ſchwere Körper in einer Flüſſigkeit ſo viel von ſeinem Gewichte verliert, als die durch ihn verdrängte Flüſſigkeit wiegt. Heißt daher das Gewicht eines Körpers im leeren Raume P, das der Flüſſigkeit unter demſelben Volum p; ſo iſt ſein Gewicht in der Flüſſigkeit $P - p$. Zeigt ſich $P > p$, ſo ſinkt er in der Flüſſigkeit zu Boden; iſt $P = p$ ſo verhält er ſich in ihr, wie eine ſchwerloſe Maſſe; iſt aber gar $P < p$, ſo ſteigt er in die Höhe, bis nur ein Stück von ihm eingetaucht iſt, unter deſſen Volum die Flüſſigkeit ſo viel wiegt, als der ganze eingetauchte Körper. Es iſt klar, daß P und p als Gewichte unter demſelben Volum in demſelben Verhältniſſe ſtehen, wie die ſpecifiſchen Gewichte (52) des eingetauchten Körpers und der Flüſſigkeit. Man kann daher ſagen: Ein in eine Flüſſigkeit ganz eingetauchter, ſich ſelbſt überlaſſener Körper ſinkt zu Boden, bleibt ſtehen, ſteigt aufwärts, je nachdem er ſpecifiſch ſchwerer, eben ſo ſchwer, leichter iſt als die Flüſſigkeit.

Dieſen Hauptſatz der Hydroſtatik hat Archimedes gefunden.

194. Da auf einen Körper, der ſich in einer Flüſſigkeit befindet, zwei Kräfte wirken, nämlich ſein Gewicht, das ihn abwärts zieht und

in ſeinem Schwerpuncte vereinigt gedacht werden kann, und der Druck der Flüſſigkeit, welcher ihn aufwärts treibt, dem Gewichte der vom Platze geſchobenen Flüſſigkeitsmaſſe gleich iſt, und den vormaligen Schwerpunct derſelben zum Angriffspuncte hat; ſo hängt das Gleichgewicht des Körpers in der Flüſſigkeit bloß von dem Effecte zweier gleichſam an den Enden einer ſtarren Linie, die hier die Verbindungslinie beider Schwerpuncte iſt, nach verticalen und entgegengeſetzten Richtungen angebrachten Kräfte ab. Damit alſo ein Körper in einer Flüſſigkeit im Gleichgewichte ſich befinde, wird erfordert: 1) daß ſein Gewicht dem der verdrängten Flüſſigkeit gleich ſey, 2) daß der Schwerpunct der Flüſſigkeit und der Schwerpunct des eingetauchten Körpers in derſelben verticalen Linie liegen. Vermöge der erſten Bedingung kann er nicht ſteigen oder ſinken, d. h. er ſchwimmt; vermöge der zweiten kann er ſich nicht drehen. Man kann füglich annehmen, daß es für jeden Körper eine oder mehrere Lagen gibt, in welcher die zweite Bedingung erfüllt iſt. In Betreff der erſten Bedingung liegt am Tage, daß ſie nur bei Körpern erfüllt werden kann, deren ſpecifiſches Gewicht nicht größer als jenes der Flüſſigkeit iſt. In ſo ferne der zweiten Bedingung Genüge geſchieht, iſt noch zu beurtheilen, ob das Gleichgewicht des ſchwimmenden Körpers ſtabil oder labil ſey. Zu dieſem Ende denke man ſich denſelben durch eine ſehr geringe Neigung aus ſeiner Gleichgewichtslage gebracht, und unterſuche, ob er jetzt ein Beſtreben kund gibt, ſich gegen ſeine frühere Poſition zurück zu wenden, oder ſich von derſelben noch mehr zu entfernen. Es ſey G der Schwerpunct des bereits in geneigter Stellung befindlichen Körpers, Gx die Gerade, welche in der Gleichgewichtslage des Körpers eine verticale Stellung hatte, in welcher ſich daher auch der Schwerpunct der vom Körper verdrängten Flüſſigkeit befand, und laſſen wir den Winkel, den die Gx mit der verticalen Richtung Gz bildet, ſehr klein ſeyn. Der Schwerpunct der jetzt verdrängten Flüſſigkeit wird im Allgemeinen nicht in der Gz liegen, ſondern in einen dem Schwerpuncte der früher verdrängten Flüſſigkeit benachbarten Punct F außerhalb der Gz fallen. Nehmen wir, um einen leicht faßlichen Fall vor Augen zu haben, an, der Körper ſey zu beiden Seiten einer die Gx in ſich enthaltenen Ebene, wenigſtens ſo weit er in die Flüſſigkeit taucht, ſymmetriſch gebaut, und dieſe Ebene bleibe während der Neigung deſſelben vertical, ſo daß auch Gz in derſelben liegt. Der Schwerpunct F wird nothwendig ebenfalls in dieſer Ebene liegen, mithin muß die durch ihn gehende Verticallinie Fy der Gx in einem Puncte M begegnen. Man nennt ihn das Metacentrum des ſchwimmenden Körpers, und kann ihn als den Angriffspunct der den Körper in ſeiner jetzigen geneigten Lage aufwärts treibenden Kraft anſehen. Hier zeigt ſich nun augenſcheinlich, daß die zwei Kräfte, die den Körper beherrſchen, ihn gegen ſeine vormalige Poſition zurück zu wenden ſtreben, wenn der Schwerpunct G tiefer liegt als das Metacentrum M, und daß ſie die Abweichung des Körpers von ſeiner Gleichgewichtslage noch zu vergrößern ſuchen, wenn das Umgekehrte obwaltet, nämlich

wenn das Metacentrum tiefer zu ſtehen kommt, als jener Schwerpunct. Im erſten Falle iſt die hier betrachtete Gleichgewichtslage des Körpers in der Flüſſigkeit eine ſtabile, im zweiten eine labile. Weil der Schwerpunct F der verdrängten Flüſſigkeit in der geneigten Poſition des Körpers von jenem in der Gleichgewichtslage bei ſo geringer Verrückung des Körpers nur ſehr wenig abweichen kann, alſo in der Nähe der Gx bleiben muß, ſo ſieht man leicht ein, daß der erſte Fall ganz gewiß vorhanden iſt, wenn der Schwerpunct des Körpers in der Gleichgewichtslage unter dem Schwerpuncte der verdrängten Flüſſigkeit ſteht (Fig. 56, a); findet aber die entgegengeſetzte Anordnung beider Schwerpuncte Statt, ſo läßt ſich im Allgemeinen nichts Beſtimmtes ſagen, denn es kann hiebei das Metacentrum ſowohl über (Fig. 56, b) als unter dem Schwerpuncte des Körpers (Fig. 56, c) erſcheinen, mithin das Gleichgewicht ſo gut ſtabil als labil ſeyn. Die Realität der letzteren zwei Fälle ſtellt ſich am leichteſten vor Augen, wenn man, wie in Fig. 56, b und c, rechtwinkelige Parallelepipede von homogener Maſſe, gleichem Gewichte und gleicher Baſis betrachtet, wobei alſo der Schwerpunct des Körpers in dem Mittelpuncte der Figur liegt, die Rauminhalte der verdrängten Flüſſigkeit ſtets gleich ſind, und deren Schwerpuncte an gleichliegende Stellen fallen. Es iſt leicht, auch den allgemeinen Fall in Erwägung zu ziehen, wenn die Verticale Fy die Gz nicht ſchneidet. Die Bedingung der Stabilität des Gleichgewichtes iſt dann, daß die Gx und der Punct F auf verſchiedene Seiten der Ebene fallen, welche durch Gz ſenkrecht gegen die Ebene xGz geht, wodurch man zu ähnlichen Reſultaten gelangt. Befindet ſich alſo der Schwerpunct des in einer Flüſſigkeit im Gleichgewichte ſchwimmenden Körpers unter dem Schwerpuncte der verdrängten Flüſſigkeit, ſo hat der Körper Stabilität; iſt er im labilen Zuſtande, ſo liegt der Schwerpunct des Körpers höher als jener der Flüſſigkeit; jedoch keiner dieſer zwei Sätze läßt ſich rein umkehren.

195. Da die Beſtimmung der Umſtände, unter welchen ein Körper in einer Flüſſigkeit in die Höhe ſteigt oder hinabſinkt, ſich auf die Betrachtung des Druckes gründet, den die Flüſſigkeit auf jeden ihrer Theile ausübt, ſo bleiben dieſe Umſtände ganz dieſelben, wenn eine Flüſſigkeit ſtatt eines feſten Körpers in eine Flüſſigkeit gebracht wird, und die oben vorgetragenen Sätze finden ſelbſt dann noch Anwendung, wenn die Flüſſigkeiten chemiſch mit einander verwandt ſind, ſobald nur die Miſchung derſelben noch nicht vor ſich gegangen iſt.

So ſchwimmt nicht bloß Baumöhl, ſondern auch Wein auf Waſſer, dieſes auf Schwefelſäure u. dgl. Warmes Waſſer ſteigt in kaltem in die Höhe, daher die innere Bewegung, wenn man Waſſer von unten erwärmt. Auf der ſpecifiſchen Leichtigkeit der Luft im Vergleiche mit Waſſer beruht auch die Waſſerwage Sie beſteht aus einer cylindriſchen Röhre (Fig. 57), die in der Richtung ihrer Länge kreisförmig gebogen, bis auf einen kleinen Theil mit Waſſer oder beſſer mit Weingeiſt gefüllt und luftdicht verſchloſſen iſt. Gewöhnlich wird ſie durch Stützen getragen, die eine gleiche Länge haben, wohl auch mittelſt Stellſchrauben verkürzt oder verlängert werden können. Steht die Baſis

horizontal, ſo hat die Mitte der Röhre den höchſten Stand, und die Mitte der Luftblaſe fällt mit ihr zuſammen; wird die Baſis aber aus der horizontalen Lage verrückt, ſo geht auch die Luftblaſe näher gegen das höhere Ende hin. Es dient daher die Waſſerwage, um eine Ebene horizontal zu ſtellen, oder zu erkennen, ob eine Ebene horizontal ſey oder nicht.

196. Zwei oder mehrere Flüſſigkeiten können ſich in jeder Ordnung über einander lagern und im Gleichgewichte ſtehen, wie immer ihre ſpecifiſchen Gewichte beſchaffen ſeyn mögen; Stabilität haben ſie aber nur, wenn ſie ſich nach der Ordnung ihrer ſpecifiſchen Gewichte über einander befinden, und die ſpecifiſch ſchwerſte den unterſten Platz einnimmt.

Darum kann man in einer engen Glasröhre Waſſer, ja ſogar Queckſilber über Luft erhalten, ſo lange keine Erſchütterung eintritt.

197. Ein ſchwimmender Körper kann ſich in eine Flüſſigkeit, deren ſpec. Gewicht größer iſt als ſein eigenes, nur zum Theil eintauchen. Iſt V das Volum eines ſolchen Körpers, P ſein abſolutes, S ſein ſpecifiſches Gewicht, ferner s das ſpecifiſche Gewicht der Flüſſigkeit, welches wir größer annehmen als jenes des Körpers, v das Volum des eingetauchten Theils des Körpers; ſo hat man (nach 52)

$$P = VS,\ P = vs,\ \text{mithin}\ VS = vs\ \text{oder}\ v : V = S : s,$$

d. h. das Volum des eingetauchten Theils verhält ſich zum Volum des ganzen Körpers, wie das ſpecifiſche Gewicht dieſes Körpers zu jenem der Flüſſigkeit. Wird derſelbe Körper in zwei verſchiedene Flüſſigkeiten getaucht, deren ſpecifiſche Gewichte s und s' ſind; ſo findet man das Verhältniß der eingetauchten Theile v und v' aus $P = vs$ und $P = v's'$, woraus man bekommt $vs = v's'$, und $v : v' = s' : s$, d. h. die in verſchiedene Flüſſigkeiten eingetauchten Theile eines Körpers verhalten ſich verkehrt, wie die ſpecifiſchen Gewichte dieſer Flüſſigkeiten. Sollen zwei Körper, deren abſolute Gewichte P und P' ſind, in zwei Flüſſigkeiten vom ſpecifiſchen Gewichte s und s' ſich um den Theil v eintauchen; ſo hat man $P = vs$, $P' = vs'$, $P : P' = s : s'$, d. h. die abſoluten Gewichte verhalten ſich wie die ſpecifiſchen Gewichte der Flüſſigkeiten. Es iſt aus 52 klar, daß man ſtatt des Verhältniſſes der ſpecifiſchen Gewichte jenes der Dichten ſetzen kann, und daß daher die hier betrachteten Rauminhalte in derſelben Relation zu den Dichten, wie zu den ſpecifiſchen Gewichten ſtehen.

198. Körper, die in ihrem natürlichen Zuſtande ſpecifiſch ſchwerer ſind, als eine gegebene Flüſſigkeit, können in ihr zum Schwimmen gebracht werden, wenn man ſie ſo ſehr verkleinert, daß ſie den Widerſtand der Flüſſigkeit nicht überwinden können, oder wenn man ſie aushöhlt oder mit anderen Körpern verbindet, die ſpecifiſch leichter ſind als jene Flüſſigkeit. Hierauf beruhen: das Schwimmen kleiner Erdtheile im Waſſer, die Einrichtung unſerer Schiffe, Schwimmgürtel, Rettungsboote, das Schwimmen leerer Fäſſer, die Möglichkeit aus ihnen Brücken zu bauen oder verſunkene Waaren aus dem Waſſer zu heben, das Schwimmen der Fiſche, der karteſianiſche Taucher u. ſ. w.

Iſt z. B. A ein kugelförmiger Körper vom Halbmeſſer R, deſſen ſpecifiſches Gewicht S größer iſt als das des Waſſers σ; ſo kann man leicht finden, wie groß der kugelförmige Theil ſeiner Maſſe iſt, der von Innen weggenommen werden muß, damit der Körper im Waſſer ſchwimme. Denn das Gewicht dieſes Körpers iſt $\frac{4}{3}\pi R^3 S$, jenes des Waſſers unter demſelben Volum $\frac{4}{3}\pi R^3 \sigma$, wenn π das bekannte Kreisverhältniß bedeutet. Heißt nun der Halbmeſſer der wegzunehmenden Maſſe r, mithin $\frac{4}{3}\pi r^3 S$ das Gewicht derſelben, ſo wird obige Kugel ſchwimmen, wenn man hat:

$$\tfrac{4}{3}\pi R^3 S - \tfrac{4}{3}\pi r^3 S = \tfrac{4}{3}\pi R^3 \sigma \text{ oder } r = R \sqrt[3]{\left(\frac{S-\sigma}{S}\right)}.$$

Soll ein Körper ſtatt durch Aushöhlen durch Verbindung mit einem ſpecifiſch leichteren zum Schwimmen gebracht, und das nöthige Gewicht des letzteren beſtimmt werden; ſo nenne man ſein abſolutes Gewicht P, ſein ſpecifiſches S; eben dieſe Bedeutung mögen p und s für den ſpecifiſch leichteren haben, während σ das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers bedeutet. Da der Körper ſchwimmen wird, wenn ſein Gewicht ſammt der Zugabe dem Gewichte des verdrängten Waſſers gleich iſt; ſo hat man:

$$\left(\frac{P}{S} + \frac{p}{s}\right)\sigma = P + p, \text{ mithin } p = \frac{Ps\,(S-\sigma)}{S\,(\sigma - s)}.$$

Man kann in dieſen Formeln ſtatt der ſpecifiſchen Gewichte auch die Dichten ſetzen, denn da ſich dieſe Gewichte im Zähler und Nenner gleich oft vorfinden, ſo kommt es hier nicht auf die abſoluten Werthe, ſondern nur auf die Verhältniſſe derſelben an; es verhalten ſich aber die ſpecifiſchen Gewichte der Körper wie deren Dichten (52).

Mit dem erwähnten Schwimmen muß man ja nicht das künſtliche des Menſchen verwechſeln. Dieſes iſt ein beſtändiges Wehren gegen das Unterſinken mittelſt der Hände und Füße. Der Schwimmer ſtemmt ſich mit den flachen Händen und mit den Fußſohlen gegen das Waſſer, indem er erſtere ſchnell abwärts bewegt und letztere ſchnell ausſtreckt, hierauf beide zurückzieht und mit der kleineren Fläche das Waſſer durchſchneidet. Verengung der Bruſthöhle durch Ausathmen, Hervorſtrecken der Hände aus dem Waſſer befördert das Sinken. Je größer der eingetauchte Theil des Körpers iſt, deſto leichter geht das Schwimmen von Statten, dieß zeigt das Schwimmen auf dem Rücken. (Die Kunſt zu ſchwimmen von Oronzio di Bernardi, Weimar 1799.)

C. Hydroſtatiſche Beſtimmung der ſpecifiſchen Gewichte und der Dichten feſter und tropfbarer Körper.

199. Könnte man Rauminhalte ſo leicht mit Genauigkeit meſſen, wie man die Gewichte der Körper findet, ſo wäre zur Beſtimmung der ſpecifiſchen Gewichte kein beſonderes Verfahren nöthig; man erhielte das ſpecifiſche Gewicht eines Körpers unmittelbar durch Diviſion ſeines abſoluten Gewichtes mit ſeinem Volum. Allein da das Volum eines Körpers, der keine regelmäßige Geſtalt beſitzt, auf directem Wege, d. i. durch wirkliche Meſſung nicht mit hinreichender Genauigkeit gefunden werden kann, ſo ſucht man lieber die Dichte des Körpers und multiplicirt ſelbe mit dem ſpecifiſchen Gewichte des Waſſers, wodurch man das ſpecifiſche Gewicht des Körpers erhält. Es tritt daher die Nothwendigkeit einer directen Volumsbeſtimmung lediglich bei der Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes des Waſſers ein. Der im

Vorhergehenden bewieſene Lehrſatz geſtattet das Gewicht des Waſſers unter einem gemeſſenen Volum auf einem leichteren und ſicherern Wege zu bekommen, als durch die in 53 in Anwendung gebrachte Abwägung eines mit Waſſer gefüllten Gefäßes. Es läßt ſich nämlich das Volum eines ſoliden feſten Körpers von regelmäßiger Figur bequemer und ſchärfer meſſen, als der Rauminhalt eines Gefäßes. Verſenkt man daher einen metallenen Cylinder, deſſen Volum v genau ausgemittelt worden iſt, in Waſſer und ſucht den Gewichtsverluſt p, den er darin erleidet, ſo hat man dadurch zugleich das Gewicht des Waſſers, welches das Volum des Cylinders ausfüllt, aus welchen Größen ſich das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers nach der Formel $s = \frac{p}{v}$ ergibt.

200. Die **Dichte** tropfbarer und feſter Körper erhält man auf hydroſtatiſchem Wege entweder mittelſt der ſogenannten **hydroſtatiſchen Wage** oder mittelſt der **Aräometer**.

Die hydroſtatiſche Wage unterſcheidet ſich von einer gewöhnlichen Schalwage nur durch ihre größere Empfindlichkeit und Genauigkeit, und es kann jede gute Wage dieſer Art ſogleich in eine hydroſtatiſche umgeſtaltet werden, wenn man ihr an einer Seite eine kürzer aufgehängte Schale gibt, die unten einen Haken trägt, woran mittelſt eines feinen Drahtes nach Bedürfniß ein feſter Körper, in der Regel ein ſolider Glastropfen, oder ein Glasſchälchen aufgehängt wird, um dieſe Gegenſtände während des Gebrauches der Wage nach Umſtänden in Waſſer oder in eine andere Flüſſigkeit zu verſenken, und die dadurch entſtehende Gewichtsdifferenz zu finden. Hierzu gehört noch ein zum Höher- und Niedrigerſtellen eingerichteter Träger für das Gefäß, worin ſich dieſe Flüſſigkeit befindet, allenfalls noch eine gleichfalls mit einem Drahte zum Aufhängen verſehene Zange, um feſte Körper darin einzuſpannen, u. dgl.

Die erſte Idee der hydroſtatiſchen Wage und ihres Gebrauches gehört **Galilei**.

201. Handelt es ſich nun um die Beſtimmung der Dichte einer **tropfbaren Flüſſigkeit**, ſo wäge man einen feſten Körper, deſſen Gewichtsverluſt p in reinem Waſſer man kennt, in der zu unterſuchenden Flüſſigkeit ſorgfältig ab, und beſtimme den darin erlittenen Gewichtsverluſt q. Nennt man die geſuchte Dichte D, ſo hat man $D : 1 = q : p$ und hieraus $D = \frac{q}{p}$. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß der eingetauchte Körper weder im Waſſer, noch in der zu prüfenden Flüſſigkeit auflöslich ſeyn darf, und daß er ſich in beide ganz einſenken muß. In den meiſten Fällen reicht man mit dem vorerwähnten Glastropfen aus, nur bei der Unterſuchung der Flußſäure (die Glas angreift), muß man zu einer ſilbernen oder bleiernen Maſſe ſeine Zuflucht nehmen.

Statt des vorhergehenden Verfahrens kann man auch das folgende gleichfalls hydroſtatiſche wählen: Man bringe die zu unterſuchende Flüſſigkeit in einen Arm eines communicirenden Gefäßes, und Waſſer in den

anderen, trenne, wenn ſie ſich etwa mit einander zu miſchen geneigt ſind, beide von einander durch eine dritte, gegen beide indifferente Flüſſigkeit, und meſſe die Höhe der zwei Säulen, wenn das Gleichgewicht hergeſtellt iſt. Dieſe verhalten ſich verkehrt wie die Dichten der Flüſſigkeiten (189). Doch gewährt dieſes Verfahren bei weitem nicht die Genauigkeit des obigen.

202. Um die Dichte eines feſten Körpers zu finden, ſucht man ſein abſolutes Gewicht P und ſeinen Gewichtsverluſt p im Waſſer, oder wenn dieſes ihn angreift in einer andern Flüſſigkeit, deren Dichte d man beſtimmt hat. Im erſten Falle iſt die Dichte D des Körpers nach der Formel $D = \frac{P}{p}$, im zweiten nach der Formel $D = \frac{P}{p} \cdot d$ zu berechnen. Der Grund des Verfahrens liegt darin, daß man hier das Gewicht des Körpers und jenes der Flüſſigkeit unter demſelben Rauminhalte mit einander vergleicht. Gepulverte Körper wägt man auf einer gläſernen Schale, deren Gewicht und Gewichtsverluſt in einer gegebenen Flüſſigkeit ſchon vorläufig bekannt ſind. Sollte der Körper ſpecifiſch leichter ſeyn als die Flüſſigkeit, in der man ihn abwägen will; ſo ſpannt man ihn in eine Zange ein, und wägt ihn ſammt derſelben in der Flüſſigkeit, ſchlägt aber nach der Hand vom geſammten Gewichtsverluſte jenen der Zange ab.

Daß man bei der Anwendung der hydroſtatiſchen Wage auf den Gewichtsverluſt des Drahtes, auf die Temperatur des zu unterſuchenden und des Hilfskörpers Rückſicht nehmen, und überhaupt die in 145 empfohlene Abwägungsmethode anwenden müſſe, wenn die Reſultate genau ſeyn ſollen, verſteht ſich von ſelbſt.

203. Es ſind zwei Arten von Aräometern im Gebrauche, nämlich **Aräometer mit Scalen**, deren Gewicht ſtets unverändert bleibt, und **Aräometer mit Gewichten**, deren Belaſtung nach Bedürfniß geändert wird. Erſtere dienen bloß zur Beſtimmung der Dichten tropfbarer Körper; letztere eignen ſich auch für feſte Körper. Beide Arten beruhen auf den in 197 vorgetragenen Sätzen.

204. Ein **Scalen-Aräometer** iſt eine cylindriſche, am unteren Theile zuweilen in eine Erweiterung ausgehende geſchloſſene Röhre, Fig. 58, am beſten von Glas, welche unten ſo belaſtet iſt, daß ſie im Waſſer mit Stabilität ſchwimmt. Taucht man ſelbe in eine andere Flüſſigkeit, ſo wird ſie ſich weniger oder mehr einſenken als im Waſſer, je nachdem die Flüſſigkeit dichter oder weniger dicht iſt als letzteres. Es läßt ſich an dem Inſtrumente eine Scala ſo anbringen, daß der an der Oberfläche der Flüſſigkeit erſcheinende Theilſtrich die Dichte der Flüſſigkeit anzeigt. Dieſe Scala iſt gewöhnlich auf zwei Inſtrumente vertheilt, wovon eines für **ſchwere**, das andere für **leichte** Flüſſigkeiten dient. Bei erſteren entſpricht der Dichte des Waſſers der höchſte, bei den letzteren der tiefſte Punct der Scale. Wo man eine große Schärfe des Reſultates wünſcht, da ſind dieſe Inſtrumente freilich nicht zu empfehlen; wo man aber mit einer mäßigen Genauigkeit zufrieden iſt, da ſind ſie äußerſt bequem. Sie dienen aber nebſtdem noch zu einem anderen Zwecke. Nämlich die Dichte vieler gemiſchten

Flüſſigkeiten, z. B. des Weingeiſtes, der Säuren ꝛc. ändert ſich mit der Menge eines oder des anderen Beſtandtheiles ſo, daß man, wenn einmal für ein Miſchungsverhältniß die Dichte durch vorläufige Erfahrungen gefunden iſt, in Zukunft umgekehrt von dieſer Dichte auf das Miſchungsverhältniß ſchließen, und die Aräometer ſo einrichten kann, daß die Scale ſtatt der Dichte die verhältnißmäßige Menge eines oder des anderen Beſtandtheiles anzeigt. Man heißt ſolche Aräometer Procentenaräometer oder nach Verſchiedenheit der Flüſſigkeit, für welche ſie beſtimmt ſind, Weingeiſt-, Salpeterſäure-Aräometer u. ſ. w.

Bei der Verfertigung eines ſolchen Aräometers wird zuerſt die bleibende Belaſtung des Inſtrumentes ausgemittelt, wobei daſſelbe einſtweilen eine proviſoriſche Scale erhält. Man ändert nun die Belaſtung ſo, daß ſich das Inſtrument im Waſſer ſo weit einſenkt, als es ſich ohne Aenderung der Belaſtung, alſo in ſeinem normalen Zuſtande, in eine Flüſſigkeit von gegebener Dichte eingeſenkt hätte, und bemerkt bis zu welchem Theilſtriche der proviſoriſchen Scale die Einſenkung erfolgt. Dieſen Theilſtrich überträgt man ſodann mit der gehörigen Bezeichnung auf die bleibende Scale. So beſtimmt man ſich ſo viele Puncte der Scale, daß man, ohne der Genauigkeit Abbruch zu thun, die Zwiſchenſtellen durch Theilung in gleiche Theile ausfüllen kann. Am Schluſſe wird die gehörige Belaſtung des Aräometers wieder hergeſtellt. Um aber die Aenderung x der Belaſtung des Aräometers zu finden, mit deren Hülfe es ſich im Waſſer ſo ſtellt, wie es im normalen Zuſtande in einer Flüſſigkeit von der Dichte D ſtehen würde, ſey P das vorläufig durch wirkliche Wägung ausgemittelte bleibende Gewicht des Aräometers. Man ſieht leicht, daß wenn das Aräometer, während es das Gewicht P + x hat, ſich im Waſſer ſo weit eintaucht, als mit dem Gewichte P in einer Flüſſigkeit von der Dichte D, nothwendig erſteres Gewicht jenes des Waſſers, das andere jenes der Flüſſigkeit unter einerlei Volum, nämlich unter dem Volum des eingetauchten Theiles angibt; das Verhältniß dieſer Gewichte iſt alſo zugleich das Verhältniß der Dichten beider Flüſſigkeiten, und daher beſteht die Proportion: $P + x : P = 1 : D$, woraus $P + x = \frac{P}{D}$ und

$$x = P\left(\frac{1}{D} - 1\right)$$

folgt. Hier fällt x poſitiv oder negativ aus, je nachdem $D < 1$ oder $D > 1$ iſt, mithin iſt im erſten Falle eine Gewichtsvermehrung, im anderen eine Gewichtsverminderung des Aräometers vorzunehmen, was ſchon für ſich klar iſt. Auf das hier Geſagte läßt ſich auch ein einfaches Verfahren gründen, die Richtigkeit der Scala jedes fertigen Aräometers zu prüfen. Je empfindlicher ein Aräometer iſt, ein deſto größeres Volum nimmt es ein; meiſtens reicht die Scala eines Inſtrumentes für leichte Flüſſigkeiten von 0.700 bis 1.000, für ſchwere von 1.000 bis 2.000; nur durch beſondere Kunſtgriffe kann man in einem Inſtrumente beide Scalen vereinigen, ohne ſeiner Empfindlichkeit Abbruch zu thun. (Zeitſchr. neue Folge 2. 38.)

Die Erfindung der Scalenaräometer wird Archimedes zugeſchrieben; bereits im 16. Jahrhunderte hatte man in Deutſchland Salzſpindeln im Gebrauche; in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts gab Boyle den Aräometern eine beſſere Einrichtung. Die oben angedeutete einfache Methode zur Anfertigung der Scala aber hat erſt in dem letzten Drittheil des vorigen Jahrhunderts Briſſon gelehrt.

Man trifft häufig Aräometer, welche weder die Dichte, noch ein

beſtimmtes Miſchungsverhältniß unmittelbar angeben, ſondern deren Scalen in meiſtens willkürliche Grade eingetheilt ſind. Unter allen Inſtrumenten dieſer Art haben die von Beaumé den meiſten Zuſpruch erhalten; es iſt daher nothwendig, anzugeben, wie Beaumé ſeine Scale beſtimmte. Dieſes geſchah auf zweifache Art, je nachdem er das Inſtrument für Flüſſigkeiten anwenden wollte, die ſpecifiſch leichter oder ſchwerer ſind, als Waſſer. Um die Scale für erſtere zu erhalten, tauchte er ein Gefäß, wie Fig. 58, deſſen Spindel ab durchaus gleich dick war, in eine Auflöſung von 10 Th. Kochſalz in 90 Th. Waſſer, und fand ſo den unterſten Punct der Scale, hierauf in deſtillirtes Waſſer, um den zweiten höher liegenden Punct der Scale zu finden; den Zwiſchenraum theilte er in 10 gleiche Theile und ſetzte dieſe Eintheilung bis zum Ende der Röhre fort. Den Punct des deſtillirten Waſſers bezeichnete er mit 10, und zählte von da auf- und abwärts, ſo weit es die Spindel des Aräometers erlaubte. Um die Scala für ſpecifiſch ſchwerere Flüſſigkeiten zu beſtimmen, tauchte er das Inſtrument in deſtillirtes Waſſer, fand ſo den oberſten Punct, hierauf in eine Auflöſung von 15 Theilen Kochſalz und 85 Theilen Waſſer, theilte den Abſtand dieſer zwei Puncte in 15 gleiche Theile, ſetzte zu jenem 0, und übertrug dieſe Eintheilung auf die ganze Spindel. Man ſieht leicht ein, daß dieſe Inſtrumente gar keinen wiſſenſchaftlichen Werth haben, jedoch kann man mittelſt einer Tafel die Beaumé'ſchen Grade in Dichten verwandeln.

205. Aräometer mit Gewichten, von ihrem Erfinder Fahrenheit, auch Fahrenheit'ſche genannt, unterſcheiden ſich von den Scalenaräometern dadurch, daß ſie am oberen Ende eine Schale zur Auflegung der Gewichte, und an ihrem ſehr dünnen Halſe einen feinen Strich haben, bis zu welchem ſie ſich in jede zu unterſuchende Flüſſigkeit einſenken müſſen. Beim Gebrauche muß man ein- für allemal wiſſen, wie viel das Inſtrument ſelbſt wiegt und wie viel Gewicht man noch zulegen muß, damit die Einſenkung in reinem Waſſer bis zum Zeichen am Halſe erfolge. Es ſey jenes P, dieſes p. Will man die Dichte D einer Flüſſigkeit finden, ſo ſenkt man das Inſtrument darein und legt ſo lange Gewichte zu, bis die Einſenkung gehörig weit geſchieht. Heißt dieſes Gewicht p′, ſo iſt

$$D = \frac{P + p'}{P + p}, \text{ weil } P + p : P + p' = 1 : D \text{ iſt.}$$

Nicholſon erweiterte den Gebrauch dieſes Inſtrumentes dadurch, daß er es unten mit einer Schale verſah (Fig. 59, a). Mohs bringt dieſe Schale mit Vortheil unmittelbar unter dem Halſe an (Fig. 59, b). Ein ſo eingerichtetes Aräometer kann man auch zur Beſtimmung der Dichte feſter Körper brauchen, deren Gewicht das Aufleggewicht p nicht übertrifft. Senkt man nämlich das Inſtrument in reines Waſſer, legt anfangs den zu unterſuchenden Körper A ſammt ſo viel Gewicht, als zur gehörigen Einſenkung nöthig iſt, auf die obere Schale, nimmt dann A weg und ſetzt dafür Gewichte zu; ſo weiß man das abſolute Gewicht von A. Nimmt man nun die zuletzt aufgelegten Gewichte wieder weg, legt A in die untere, im Waſſer befindliche Schale; ſo werden die Gewichte, die zur gehörigen Einſenkung des Inſtrumentes nöthig ſind, den Gewichtsverluſt von A im Waſſer anzeigen. Aus

dem abſoluten Gewichte und dem Gewichtsverluſte im Waſſer findet man mittelſt Diviſion des erſteren durch letzteren die Dichte.

Ueber Aräometer ſiehe Meißner's Aräometrie in ihrer Anwendung auf Chemie und Technik. Wien, 1816. Baumgartner's Aräometrie für Chemiſten und Technologen. Wien, 1820. Ungemein ausführlich handelt über Aräometrie das Repertorium für die Chemie als Wiſſenſchaft und Kunſt von Brandes. Hannover, 1827. 2. B. I. Abth. S. 552—630; wohl auch Gehler's phyſ. Wörterb. neu bearbeitet, und Liebig's und Poggendorff's Handwörterbuch der Chemie. Braunſchweig, 1837.

206. Obgleich die einem ſtreng wiſſenſchaftlichen Gange am meiſten zuſagende Annahme der Einheit der Dichten diejenige zu ſeyn ſcheint, welche in 51 angegeben wurde, nämlich die Dichte des Waſſers in ſeinem dichteſten Zuſtande, ſo geht man doch häufig davon ab, und hält es für bequemer, da die allgemein angenommene Normaltemperatur jene des Eispunctes iſt, auch die Dichte des Waſſers bei 0° C., in ſo fern es noch in vollkommen flüſſigem Zuſtande ſich befindet, als Einheit der Dichten gelten zu laſſen. Folgende Tabelle bezieht ſich auf die letzt genannte Einheit. Ein Wiener Kubikzoll Waſſer wiegt bei 0° C. 250,537 W. Gran.

Tafel der Dichte einiger Körper.

Platin geprägt	21,343	Lava	2,795—2,823
» gehämmert	21,314	Serpentin	2,560—2,684
Platindraht	19,267	Kreide	1,797
Platinſand	15,601	Perlen	2,750
Gold gehämmert	19,361	Spiegelglas	2,370—2,450
» gegoſſen	19,258	Flintglas	3,15 —3,329
Queckſilber gefroren	15,612	Eis	0,885
» bei 0° R.	13,598	Buxbaumholz	1,33
Blei	11,352	Mahagonyholz	1,06
Silber gehämmert	10,511	Pflaumenholz	0,785
» gegoſſen	10,474	Birnbaumholz	0,755
Wismuth gegoſſen	9,822	Lindenholz	0,604
Kupfer gehämmert	9,000	Korkholz	0,240
Kupferdraht	8,878	Alkohol	0,791
Zinn, engliſches, gegoſſen	7,291	Schwefeläther	0,717
Stahl	7,810—7,833	Bor	1,480
Schmiedeeiſen	7,788	Phosphor	1,770—1,82[illegible]
Roheiſen	7,207—7,250	Schwefel	2,072
Zink gehämmert	7,861	Selen	4,300
» gegoſſen	7,190	Jod	4,948
Saphir blau	3,909	Flußſäure	1,061
Zirkon	4,416	Salzſäure conc.	1,200
Hyacinth	4,505	Chlorſäure	1,300
Topas	3,499	Salpeterſäure	1,522
Granat edler	4,098—4,208	Schwefelſäure	1,850
» gemeiner	3,769	Phosphorſäure	2,687
Smaragd	2,678—2,775	Ammoniak flüſſ.	0,875
Bergkryſtall	2,650—2,670	Kalihydrat	1,708
Glimmer	2,654—2,985	Natrumhydrat	1,536

207. Da ſich die Dichte des Waſſers mit der Temperatur ändert, ſo iſt es bei genauer Beſtimmung der Dichten und ſpecifiſchen Gewichte der Körper unerläßlich, die Dichte und das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers bei den möglicher Weiſe vorkommenden Temperaturen zu kennen. Folgende Tabelle ſtellt die von Prof. Stampfer nach der in 199 angedeuteten Methode aus ſehr genauen Wägungen erhaltenen Reſultate dar.

Dichte und ſpecifiſches Gewicht des Waſſers.

Temperatur nach Réaum.	Volum.	Dichte.	Gewicht eines W. K. Zolles in W. Lothen.	Gewicht eines Kubikfußes in Pfunden.
— 3	1,000463	0,999537	1,043539	56,3511
2	1,000319	0,999681	1,043689	56,3592
1	1,000203	0,999797	1,043810	56,3658
0	1,000113	0,999887	1,043904	56,3708
+ 1	1,000050	0,999950	1,043970	56,3744
2	1,000012	0,999988	1,044010	56,3765
3	1,000000	1,000000	1,044023	56,3772
4	1,000012	0,999988	1,044010	56,3765
5	1,000047	0,999952	1,043972	56,3745
6	1,000106	0,999894	1,043911	56,3712
7	1,000187	0,999813	1,043827	56,3667
8	1,000289	0,999711	1,043720	56,3610
9	1,000413	0,999587	1,043591	56,3540
10	1,000558	0,999442	1,943440	56,3458
11	1,000723	0,999278	1,043268	56,3365
12	1,000906	0,999095	1,043077	56,3262
13	1,001108	0,998893	1,042866	56,3148
14	1,001329	0,998673	1,042636	56,3024
15	1,001567	0,998435	1,042388	56,2890
16	1,001822	0,998180	1,042122	56,2746
17	1,002095	0,997907	1,041839	56,2593
18	1,002384	0,997622	1,041539	56,2431
19	1,002687	0,997320	1,041223	56,2261
20	1,003005	0,997003	1,040893	56,2083
21	1,003338	0,996673	1,040549	56,1897
22	1,003685	0,996329	1,040190	56,1703
23	1,004045	0,995971	1,039816	56,1501
24	1,004418	0,995601	1,039429	56,1292
25	1,004804	0,995219	1,039031	56,1077
26	1,005202	0,994825	1,038620	56,0855
27	1,005612	0.994420	1,038197	56,0627
28	1,006032	0,994004	1,037763	56,0392
29	1,006462	0,993579	1,037319	56,0152
30	1,006902	0,993145	1,036865	55,9907
31	1,007353	0,992701	1,036402	55,9657
32	1,007813	0,992247	1,035928	55,9401

Ein W. Eimer (1,792 K. Fuß) Waſſer hat daher bei 0° C. 101,016 W. Pfund; eine W. Maß 2 Pf. 16 Lth. 195 Gr.; bei 3° R., wo die Dichte dieſer Flüſſigkeit am größten iſt, ein Eimer 101,028 W. Pfd.;

eine W. Maß 2 Pfd. 16 Lth. 197 Gr. Bei 20° R. beträgt dieſes Gewicht für den Eimer nur 100,725 W. Pfd. und für die Maß 2 Pfd. 16 Lth. 139 Gr.

D. Geſetze des Gleichgewichtes tropfbarer Körper mit Rückſicht auf Molecularkräfte.

208. Taucht man ein enges Glasrohr in Waſſer, ſo erhebt ſich das Waſſer im Rohre und ſteht zuletzt, wenn die innere Röhrenwand gehörig naß geworden iſt, bedeutend höher als die Oberfläche der Flüſſigkeit außerhalb des Rohres, und zwar um ſo höher, je geringer der Durchmeſſer des Rohres iſt. Aehnliches zeigen auch andere Flüſſigkeiten, die das Glas benetzen. Wird aber die innere Röhrenwand von der Flüſſigkeit nicht benetzt, wie z. B. wenn man ein Glasrohr in Queckſilber einſenkt, oder wenn die innere Wand eines in Waſſer getauchten Glasrohres mit einer Fettſchichte überzogen iſt, ſo hat die innere Flüſſigkeit einen um ſo tieferen Stand unter der äußeren Oberfläche, je enger das Rohr iſt. Dieſe Abweichung von dem in 187 aus der Verſchiebbarkeit der Flüſſigkeitstheilchen und ihrer Schwere abgeleiteten Geſetze des Gleichgewichtes tropfbarer Flüſſigkeiten in Communicationsgefäßen zeigt, daß hier Kräfte, die dort nicht beachtet wurden, ſich bemerklich machen. Dieſe ſind offenbar die Einwirkung des Materiales des Rohres auf die Flüſſigkeit, und der Zuſammenhang der Theilchen der letzteren. Dieſer Zuſammenhang zeigt ſich in dem Beſtreben der Flüſſigkeiten in kleinen Maſſen die ſphäriſche Geſtalt anzunehmen, d. i. Tropfen zu bilden; in Vereinigung mit der erſteren Action beſtimmt er die Form der Oberfläche der Flüſſigkeiten in der Nähe der Gefäßwände. Waſſer, das ſich in einem reinen Glaſe befindet, hat in der That keine durchaus ebene Oberfläche, ſondern dieſe zieht ſich an der Gefäßwand deutlich in die Höhe, und bildet eine ringförmige Einfaſſung. Eben ſo zeigt Queckſilber in einem Glaſe in der Nähe der Gefäßwand eine ſich herabziehende Fläche, und eben dieſes findet bei Waſſer Statt, wenn die innere Glaswand mit Fett überzogen iſt. Damit ſteht die allgemeine Erfahrung im Einklange, daß eine Flüſſigkeit, die ſich in einem engen Rohre über den äußeren Stand erhebt, daſelbſt eine ſtark vertiefte Oberfläche bildet, während dieſe convex iſt, wenn ein entgegengeſetzter Stand der Flüſſigkeit im Rohre obwaltet. Man nennt derlei enge Röhren Haarröhrchen, wenn auch der Durchmeſſer ihrer Bohrung die Dicke eines Haares noch bedeutend übertrifft. Die an denſelben ſich kund gebenden Erſcheinungen heißen daher Capillaritätsphänomene, welche Benennung man auch auf alle andern auf derſelben Urſache, nämlich auf den Molecularkräften, beruhenden Phänomene des Gleichgewichtes tropfbarer Körper im Contact mit feſten ausdehnt.

Die Unabhängigkeit des Verhaltens der Flüſſigkeiten in Haarröhrchen von der Wanddicke, wenn nur der innere Durchmeſſer und das Material ſowohl des Rohres als der Flüſſigkeit ungeändert bleibt, wie auch der Umſtand, daß die Erſcheinungen ihren Charakter ändern,

wenn das Röhrchen von innen mit der dünnſten Fettſchichte bekleidet iſt, lehrt, daß die Diſtanz, auf welche ſich die Einwirkung der Röhrenwand gegen die angrenzende Flüſſigkeit erſtreckt, unmeßbar klein iſt.

209. Um die Kräfte, welche bei den Erſcheinungen der Haarröhrchen ins Spiel treten, näher kennen zu lernen, ſey ACDB Fig. 60 der Durchſchnitt eines in Waſſer vertical ſtehenden cylindriſchen oder prismatiſchen Haarröhrchens, MN die ebene Oberfläche des äußeren Waſſers, und AB die Oberfläche der im Röhrchen gehobenen Waſſerſäule. Da dieſe mit dem übrigen Waſſer im Gleichgewichte ſteht, ſo muß auch, wenn man ſich einen von dem unteren Ende CD des Rohres nach abwärts gehenden, dann horizontal und endlich aufwärts ſich wendenden, und bis an die Waſſerfläche in GH reichenden Canal von gleichem Querſchnitt mit dem Rohre vorſtellt, deſſen Wände aus Waſſer beſtehen und der mit Waſſer gefüllt iſt, in der ganzen Waſſermaſſe im Rohr und Canale für ſich Gleichgewicht herrſchen. Die Schwerkräfte, die auf das unter der Ebene MN befindliche Stück dieſer Waſſermaſſe wirken, heben ſich nach 187 auf, und es bleibt nur noch das Gewicht der über MN im Rohre vorhandenen Waſſerſäule AEFB zu betrachten übrig, welches durch die Geſammtwirkung der hier thätigen Molecularkräfte getragen wird. Wegen des unmeßbar kleinen Bereiches dieſer Kräfte kann man ſich vorſtellen, daß von dem Rohre unmittelbar nur eine an der inneren Wand anliegende Waſſerröhre von äußerſt geringer Wanddicke gehalten werde, welche wieder eine zweite in ihr ſteckende concentriſche Waſſerröhre hält, an der wieder eben ſo eine dritte hängt u. ſ. w., ſo daß alſo das Rohr nur mittelſt dieſer Zwiſchenkräfte die geſammte Waſſerſäule AEFB trägt. Die Kräfte, welche dieſe Säule aufwärts ziehen, ſind: 1) die Anziehung, welche die ober AB befindliche Röhrenwand auf die angrenzenden Waſſertheilchen ausübt; ſie heiße P. 2) Die Anziehung, welche das untere Ende CD des Rohres auf die unter ihm ſtehende Waſſerſäule ausübt, und die ſich durch das übrige Waſſer bis zur Säule AEFB fortpflanzt. Sie hat offenbar denſelben Werth P. Dagegen wird dieſe Säule abwärts gezogen: 1) durch ihr Gewicht Q; 2) durch die Anziehung, welche die unterhalb CD befindliche Waſſerwand, die gleichſam die Fortſetzung der inneren Röhrenwand iſt, gegen die über ihr ſtehende Säule äußert, und welche P′ heißen mag. Alle übrigen noch vorhandenen Anziehungen heben ſich gegenſeitig auf. So kann z. B. der Theil ACDB des Rohres gegen das in ihm eingeſchloſſene Waſſer keine hebende oder hinabdrückende Kraft ausüben. Denn es iſt kein Grund vorhanden, warum eher die eine als die andere Wirkung obwalten ſollte. Ein Gleiches gilt auch von der Einwirkung der die Begrenzung des Canals CDHG bildenden Waſſermaſſe auf das eingeſchloſſene Waſſer. Das Gleichgewicht der Waſſerſäule AEFB wird alſo durch das Stattfinden der Gleichung

$$P + P = Q + P' \text{ oder } 2P - P' = Q$$

bedingt. Man kann die Kraft P als die Summe der Anziehungen betrachten, welche von unendlich vielen unendlich ſchmalen Verticalſtrei-

fen, in die ſich die innere Röhrenwand zerlegen läßt, auf das anliegende Waſſer ausgehen, folglich jene Kraft dem Umfange des horizontalen Querſchnittes dieſer Wand proportional ſetzen, und ein Gleiches läßt ſich auch von P' annehmen. Iſt nun c der Umfang des genannten Querſchnittes, ſo kann man $P = pc$, $P' = p'c$ ſetzen, wobei p, p' Factoren ſind, die bloß von der Materie des Rohres und der Flüſſigkeit, nicht aber von der Geſtalt des inneren Querſchnittes des Rohres abhängen. Nennen wir ferner den Flächeninhalt dieſes Querſchnittes a; die Höhe, welche die Säule EFBA haben würde, wenn ſie ohne Aenderung ihrer Maſſe eine ebene Oberfläche bei AB hätte, h, und das ſpecifiſche Gewicht des Waſſers s, ſo iſt das Gewicht der Säule AEFB nämlich $Q = ahs$. Obige Gleichung gibt daher

$$(2p - p')c = ahs \text{ woraus, } h = \frac{2p - p'}{s} \cdot \frac{c}{a}$$

folgt. Dieſer Ausdruck paßt offenbar auch für jeden anderen tropfbaren Körper an der Stelle des Waſſers, wenn unter s das ſpecifiſche Gewicht des erſteren verſtanden wird. Man ſieht aus der hier für die Höhe h der Flüſſigkeitsſäule im Haarröhrchen gefundenen Formel, daß dieſelbe nur dann einen poſitiven Werth erhält, alſo wirklich ein Aufſteigen der Flüſſigkeit über ihre Oberfläche außerhalb des Rohres obwaltet, wenn $2p > p'$ iſt, d. h. wenn die Anziehung der Flüſſigkeitstheile unter einander weniger beträgt, als das Doppelte der Anziehung des Rohres gegen dieſe Theilchen. Wäre $2p = p'$, alſo erſtere Anziehung der doppelten letzteren gleich, ſo ergäbe ſich $h = 0$, d. h. die Flüſſigkeit würde ſich ſo verhalten, als ob keine Molecularwirkung vorhanden wäre. Für den Fall, wenn $2p < p'$ iſt, d. h. wenn die Anziehung der Flüſſigkeitstheilchen unter einander die doppelte Anziehung des Rohres gegen ſelbe übertrifft, erſcheint h negativ, und es ſteht dann die Flüſſigkeit im Haarröhrchen tiefer, als außer demſelben.

210. Iſt der Querſchnitt des Rohres ein Kreis mit dem Durchmeſſer d, ſo iſt $c = \pi d$ und $a = \frac{1}{4}\pi d^2$ alſo $\frac{c}{a} = \frac{4}{d}$ und daher, wenn man zur Abkürzung $\frac{4(2p - p')}{s} = A$ ſetzt, $h = \frac{A}{d}$. Für ein zweites ſolches Rohr von gleichem Materiale in der nämlichen Flüſſigkeit hat A denſelben Werth, mithin iſt, wenn h', d' Größen derſelben Art wie h, d anzeigen, $h' = \frac{A}{d'}$, alſo

$$h : h' = d' : d$$

Es verhalten ſich alſo bei übrigens gleichen Umſtänden die Längen der gehobenen oder hinabgedrückten Säulen in cylindriſchen Haarröhrchen von verſchiedener Bohrung verkehrt wie deren Durchmeſſer, was mit der Erfahrung genau übereinſtimmt, wie insbeſondere mehrere von Hauy und Tremery mit Sorgfalt angeſtellte Verſuche gezeigt haben.

Die Durchmeſſer ſolcher Röhrchen kann man ſehr ſcharf dadurch beſtimmen, daß man ſie leer abwägt, hierauf eine beliebig lange Queckſil-

berſäule hineinbringt, wieder ihr Gewicht beſtimmt, und ſo aus der Differenz beider Reſultate das Gewicht p der hineingebrachten Queckſilberſäule findet. Hat die Säule die Länge l, ſo iſt ihr Gewicht $\frac{1}{4}\pi d^2 l S = q$, wenn d den Durchmeſſer des Röhrchens und S das ſpecifiſche Gewicht des Queckſilbers bedeutet. Mithin iſt

$$d = 2\sqrt{\frac{q}{\pi l S}}.$$

211. Es ſey der Querſchnitt eines prismatiſchen Röhrchens ein Rechteck, und zwar b die Breite, d die Dicke des Rohres, ſo iſt $c = 2(b + d)$ und $a = bd$, mithin $\frac{c}{a} = \frac{2(b+d)}{db} = 2\left(\frac{1}{d} + \frac{1}{b}\right)$, alſo wenn A die vorige Bedeutung beibehält,

$$h = \frac{1}{2}A\left(\frac{1}{d} + \frac{1}{b}\right).$$

Setzt man an die Stelle eines ſolchen Rohres zwei ebene einander parallele Platten, deren Abſtand = d iſt, ſo erſcheint in dieſem Ausdrucke b in Bezug auf d unendlich groß, alſo $\frac{1}{b}$ gegen $\frac{1}{d}$ unendlich klein, und es kann erſterer Bruch vernachläßiget werden. Hier wird demnach

$$h = \frac{A}{2d}.$$

Vergleicht man dieſes Reſultat mit dem für ein cylindriſches Haarröhrchen erhaltenen, ſo ſieht man, daß die Höhe der zwiſchen zwei parallelen Platten gehobenen oder hinabgedrückten Flüſſigkeitsſäule die Hälfte derjenigen iſt, die ein cylindriſches Röhrchen von gleichem Material, deſſen Dicke dem Abſtande der Platten gleich kommt, darbietet, ein Satz, der bereits von Newton als ein Ergebniß der Erfahrung bemerkt wurde.

212. Betrachten wir wieder ein Haarröhrchen ACDB (Fig. 61), in welchem eine Flüſſigkeit, z. B. Waſſer, höher ſteht als außerhalb des Rohres. Man denke ſich von dem tiefſten Puncte o der concaven Waſſerfläche AB im Röhrchen angefangen eine äußerſt dünne Waſſerſäule OKUL zuerſt abwärts, dann unterhalb des Rohres ſeitwärts und zuletzt aufwärts gehend, und an der äußeren Waſſerfläche bei L ſich endigend. Da in dieſer Säule Gleichgewicht herrſcht, aber der Theil KUL, in ſo fern er bloß von der Schwere afficirt wird, für ſich im Gleichgewichte ſteht, ſo muß das Gewicht der über die äußere Waſſerfläche gehobenen Säule OK durch die bloße Action der Molecularkräfte des Waſſers getragen werden, denn die Anziehung der Röhrenwand reicht, wie bereits oben gezeigt worden iſt, bei weitem nicht bis in die Mitte des Rohres. Es iſt intereſſant einzuſehen, auf welche Weiſe die Molecularanziehung des Waſſers dieſen Effect hervorbringt, zu welchem Behufe wir in eine genauere Betrachtung des Zuſammenwirkens der die Molekel der tropfbaren Flüſſigkeiten beherrſchenden Kräfte eingehen wollen.

213. Unterſuchen wir zunächſt, welche Einwirkung irgend ein Molekel A, Fig. 62, das ſich im Innern eines tropfbaren Körpers befin-

det, von ſeiner Umgebung erfährt. Die Geſammtheit der Erſcheinungen, welche uns tropfbare Körper darbieten, führt zur Annahme, daß die zunächſt A ſtehenden Molekel darauf abſtoßend, die entfernteren darauf anziehend wirken, welche letztere Wirkung aber in einer ſinnlich wahrnehmbaren Diſtanz bereits keine merkliche Größe mehr hat. Beide Kräfte ſind nur als Unterſchiede zwiſchen der unmittelbaren Abſtoßung und Anziehung der Molekel zu betrachten, wovon in kleineren Diſtanzen die erſtere, in größeren die letztere das Uebergewicht hat. Es ſey AB die größte Diſtanz, auf welche ſich die Abſtoßung, und AC diejenige, auf welche ſich die Anziehung erſtreckt. Beſchreibt man nun A als Mittelpunct mit den Halbmeſſern AB, AC Kugelflächen, ſo wirkt auf A jedes innerhalb der erſteren Fläche liegende Molekel, z. B. x abſtoßend, jedes außerhalb derſelben, aber noch innerhalb der größeren Kugelfläche liegende, z. B. y anziehend. Man kann daher den Raum, welchen die kleinere Kugelfläche umſchließt, die Sphäre der Abſtoßung, und den Raum zwiſchen beiden Kugelflächen die Sphäre der Anziehung nennen. Iſt die Entfernung des Theilchens A von jedem Puncte der Oberfläche MN der Flüſſigkeit größer als der Halbmeſſer der Anziehungsſphäre, und hat die Flüſſigkeit im Bereiche dieſer Sphäre einerlei Dichte, eine Vorausſetzung, die ohne merklichen Fehler gemacht werden darf, wenn A der Oberfläche nicht zu nahe liegt, ſo tilgen ſich ſämmtliche von den Theilchen, welche A umgeben, auf dasſelbe ausgeübte Kräfte; denn zu jedem Molekel, wie x oder y läßt ſich, wenn man xA oder yA verlängert und $x'A = xA$ oder $y'A = yA$ nimmt, ein zweites Molekel, nämlich x' oder y' angeben, welches auf A nach gerade entgegengeſetzter Richtung und mit derſelben Stärke einwirkt, wie x oder y. Faſſen wir jetzt ein Theilchen A ins Auge, deſſen Entfernung von den Puncten eines Stückes HK der Oberfläche MN der Flüſſigkeit kleiner iſt, als der Halbmeſſer der anziehenden, aber größer als der Halbmeſſer der abſtoßenden Sphäre (Fig. 63). Hier wird die Sphäre der Anziehung von der Oberfläche der Flüſſigkeit in HK begrenzt, und das Stück HLK der genannten Sphäre iſt alſo entweder leer, oder doch mit andern, oder wenigſtens mit anders angeordneten Molekeln (mit Luft oder mit Dünſten) erfüllt. Wir wollen der Einfachheit wegen es ſo nehmen, als ob der Raum oberhalb MN leer wäre, auch wollen wir der Flüſſigkeit durchgehends einerlei Dichte beilegen; es iſt leicht einzuſehen, wie die folgenden Schlüſſe abzuändern ſind, wenn Eines oder das Andere nicht Statt findet. Denkt man ſich von allen Puncten der Fläche HK durch A gerade Linien gezogen, und dieſelben eben ſo weit über A hinaus verlängert, als die Längen dieſer Linien betragen, ſo beſtimmen die Endpuncte ſämmtlicher Verlängerungen eine Fläche H'K', welche von der Anziehungsſphäre des Theilchens A ein Stück H'L'K' herausſchneidet, worin Molekel erſcheinen, deren Anziehung gegen A, weil HLK leer iſt, nicht getilgt wird, während die Actionen aller innerhalb des Raumes HKH'K' befindlichen Molekel auf A ſich gegenſeitig aufheben. Das Theilchen A wird alſo von der Geſammtheit der Theilchen

in H′L′K′ abwärts gezogen. Entſpricht der Fläche HK und folglich auch der Fläche H′K′ eine durch A gehende Axe der Symmetrie, z. B. LAL′, ſo hat die Reſultirende aller dieſer Anziehungskräfte die Richtung AL′. Iſt die Entfernung des Theilchens A von der Oberfläche der Flüſſigkeit nur um wenig geringer als der Halbmeſſer der Sphäre der Anziehung, ſo erſcheint H′L′K′ klein, enthält daher weniger und dazu noch von A in größerer Diſtanz ſtehende Theilchen; die von denſelben herrührende A abwärts ziehende Kraft iſt alſo auch ſchwächer; rückt A der Oberfläche näher, ſo wird dieſe Kraft ſtärker, bis endlich auch ein Stück der Sphäre der Abſtoßung über die Oberfläche der Flüſſigkeit emporragt (Fig. 64), und in Folge deſſen ſich zu den Molekeln, welche A herabziehen, auch ſolche geſellen, die entgegengeſetzt wirken, nämlich die in H″L″K″ enthaltenen; dadurch verringert ſich die Kraft, womit das Theilchen A von den tiefer ſtehenden Molekeln herabgezogen wird, wieder um ſo mehr, je näher erſteres der Oberfläche der Flüſſigkeit ſteht, und kann ſogar die entgegengeſetzte Richtung annehmen, d. h. es können die Theilchen an der Oberfläche einer Flüſſigkeit von den darunter liegenden abgeſtoßen werden. Die Erfahrung beſtätiget die Richtigkeit dieſer Anſicht durch das Factum der Verdünſtung, welche gewiſſe tropfbare Stoffe, z. B. Waſſer bei allen Temperaturen, andere z. B. Schwefelſäure, Queckſilber bei nicht zu niedrigen Temperaturen zeigen. Aus dem Geſagten erhellet alſo, daß zunächſt unter der Oberfläche der Flüſſigkeit ſich eine Schichte von unmerklicher Dicke (dieſe iſt nämlich geringer als der Halbmeſſer der Molecularanziehung) befindet, deren Theilchen von den darunter liegenden herabgezogen werden, während in tieferen Schichten ſich keine ſolche Wirkung kund gibt; die erſtere Schichte hat in vielen Fällen ſogar noch eine über ſich, deren Theilchen nach aufwärts getrieben werden, und ſich, wenn kein Gegendruck vorhanden iſt, von der Oberfläche wirklich entfernen. Dieſe letztere Schichte übt auf die Erſcheinungen der Haarröhrchen einen nur äußerſt geringen Einfluß aus, weßhalb wir von ſelber abſtrahiren, und lediglich die geringe Schichte nächſt der Oberfläche im Auge behalten, worin ſich der abwärts gerichtete Druck, den die Flüſſigkeit in Folge der geſammten Molecularanziehung aller Theile gleichſam auf ſich ſelbſt ausübt, kund gibt. Eben ſo ſetzen wir die Verſchiedenheit der Dichte bei Seite, die an der Oberfläche nothwendiger Weiſe obwaltet, wo die Dichte ſich ſehr raſch ändert, bis ſie in die im Innern der Flüſſigkeit beſtehende übergeht.

Offenbar muß jede unendlich dünne Schichte im Innern eines tropfbaren Körpers durch die aus der Geſammtwirkung der Abſtoßung der unmittelbar angrenzenden und aus der Anziehung der etwas entfernteren Theile entſpringende Kraft zuſammengedrückt werden, und man kann ſich die Sache ſo vorſtellen, als wenn ſich die genannte Schichte an die einerſeits befindliche Flüſſigkeit anſtemmte und von der andererſeits gelegenen comprimirt würde. Die Größe der Compreſſion hängt natürlich von der drückenden Kraft ab. In hinreichender Entfernung von der freien Oberfläche der Flüſſigkeit und von den Wänden des Gefäßes hat die drückende Schichte eine Dicke, welche dem Halbmeſſer der Wir-

kungsſphäre der kleinſten Theile gleich iſt, und die Compreſſion iſt demnach für alle Schichten gleich groß, welche eine ſolche Lage haben, wenn man von der geringen Compreſſion, die von der Schwere herrührt und ſich mit der Entfernung von der Oberfläche ändert, abſieht. Man kann daher annehmen, im Inneren einer flüſſigen Maſſe ſeyen alle Theile in einem gleichen Zuſtande der Compreſſion. Die an der Oberfläche befindlichen Theile ſind entweder gar nicht, oder doch nicht mehr zuſammengedrückt, als es der etwa vorhandene und zum Fortbeſtehen des flüſſigen Zuſtandes oft ſogar nöthige äußere Druck mit ſich bringt. Die zunächſt unter der Oberfläche liegenden erleiden durch die oberflächlich liegenden ſchon eine geringe Compreſſion, die noch tiefer einwärts liegenden eine noch größere, und ſo kommt es, daß die Dichte der Flüſſigkeit von außen nach innen bis zu einer allerdings nur ſehr geringen Tiefe nach einem uns unbekannten Geſetze zunimmt. In der Nähe der Gefäßwände iſt die Dichte der Flüſſigkeit aus ähnlichen Gründen von der im Inneren verſchieden. Wirken dieſe Wände nicht auf die flüſſigen Theile, ſo verhalten ſich die letzteren ſo wie an der freien Oberfläche, wirken ſie auf die Flüſſigkeit, ſo modificiren ſie das Geſetz der Dichte und können ſogar durch ihre Anziehung bewirken, daß die Dichte von der Wand nach einwärts bis zu einer gewiſſen Entfernung abnimmt, und die Theile der an der Wand anliegenden Schichte ihre große Verſchiebbarkeit verlieren. Taucht man z. B. einen Glasſtab in Waſſer, ſo bleibt beim Herausziehen daran eine zwar an und für ſich ſehr dünne, aber gegen den Halbmeſſer der Wirkungsſphäre der Theile doch noch ſehr dicke Schichte der Flüſſigkeit hängen, und erhält ſich, wenn man auch dem Stabe eine verticale Richtung gibt, wo doch ſehr leicht verſchiebbare Theile durch den Zug der Schwere zum Hinabgleiten beſtimmt werden müßten. Selbſt an der freien Oberfläche ſind die Theile wegen der nach einwärts ſich ändernden Dichte nicht ſo verſchiebbar wie im Inneren, wo rings um jedes Theilchen alles gleich iſt, und es verhält ſich daſelbſt die Flüſſigkeit ſo, als wäre ſie mit einem feinen Häutchen überzogen Daher kommt es auch, daß ſelbſt kleine Körper, die ſpecifiſch ſchwerer ſind als Waſſer, wie feine Bleche, Nadeln 2c auf demſelben ſchwimmen, ſo lange ſie nicht übernetzt ſind und ſich nicht gleichſam unter dem oberflächlichen Häutchen befinden; ſo wie aber eine Uebernetzung eingetreten iſt, fallen ſie ſchnell in der Flüſſigkeit zu Boden.

214. Die Richtung des Druckes, den ein tropfbarer Körper an jedem einzelnen Puncte ſeiner Oberfläche in Folge der Molecularanziehung auf ſich ſelbſt ausübt, iſt im Zuſtande des Gleichgewichtes gegen dieſe Fläche nothwendig normal; ſeine Größe hängt, außer der Energie der Molecularkräfte, noch von der Geſtalt der Oberfläche ab, und zwar iſt er bei einer concaven Oberfläche geringer als bei einer ebenen, und bei dieſer wieder geringer als bei einer convexen. Um dieß nachzuweiſen, ſey HK (Fig. 65) die concave Oberfläche einer Flüſſigkeit, H'K' eine tangirende Ebene zum Puncte O derſelben, alſo die auf H'K' ſenkrechte Oz die Richtung des Zuges, den die an HK grenzende Schicht nach einwärts erleidet. Denken wir uns Oz als Axe einer unendlich dünnen Flüſſigkeitsſäule, und wählen wir in ihr einen Punct A, deſſen Abſtand von O geringer iſt, als der Halbmeſſer der Sphäre der Molecularanziehung. Von dieſer Sphäre ſchneidet die concave Fläche HK das Stück $\alpha O \beta$ und die Ebene H'K' das Stück $\gamma O \delta$ ab. Nehmen wir in Oz den Punct O' ſo, daß $AO' = AO$,

legen wir durch denſelben die Ebene h′k′ mit H′K′ parallel und an ſelbe eine Fläche hk, deren Puncte bezüglich des Punctes A gegen die Puncte der Fläche HK eine gerade entgegengeſetzte Lage haben, ſo ſieht man, daß das in A befindliche Theilchen, wenn HK die Oberfläche der Flüſſigkeit iſt, nur von den in aO′bL′, wenn aber die Flüſſigkeit durch H′K′ begrenzt wird von den in cO′dL′ enthaltenen Theilchen, alſo da die Menge dieſer Theilchen größer iſt, als im vorhergehenden Falle, auch mit einer größeren Kraft abwärts gezogen wird. Ein Gleiches läßt ſich von jedem andern Puncte in der Oz zeigen, deſſen Abſtand von O in den Bereich der Molecularaction fällt, und ähnliche Betrachtungen finden, nur mit entgegengeſetzter Stellung der Ausſchnitte $\alpha\beta$, $\alpha'\beta$ (Fig. 66), auch in dem Falle Statt, wenn die Flüſſigkeit eine convexe Oberfläche hat, daher iſt die Richtigkeit obiger Behauptung erwieſen.

215. Hieraus ergibt ſich ſogleich die Folgerung, daß wenn die Oberfläche einer Flüſſigkeit innerhalb eines Haarröhrchens concav und außerhalb deſſelben eben iſt, im Zuſtande des Gleichgewichtes jene höher ſtehen muß als dieſe. Es überſteigt nämlich die Kraft, mit welcher die Flüſſigkeit an der ebenen Oberfläche abwärts gezogen wird, die Kraft, welche die Flüſſigkeit innerhalb des Rohres auf ſich ſelbſt ausübt; im Canale OKUL (Fig. 61) kann daher nur in ſo fern Gleichgewicht beſtehen, als eine Flüſſigkeitsſäule OK, deren hydroſtatiſcher Druck dem Ueberſchuſſe des Zuges abwärts bei L über den Zug bei O entſpricht, auf der letztern Seite über die Ebene MN gehoben erſcheint. Aus gleichem Grunde fordert eine convexe Oberfläche der Flüſſigkeit im Haarröhrchen, wenn die äußere Oberfläche eben iſt, zur Erhaltung des Gleichgewichtes einen tieferen Stand als dieſe. Wäre die Oberfläche innerhalb und außerhalb des Röhrchens eben, ſo fiele der Unterſchied des Flüſſigkeitsſtandes weg.

216. Die Ebenheit der Oberfläche eines ruhenden tropfbaren Körpers wird in der Nähe der Gefäßwände durch den Conflict der Anziehung letzterer gegen die Flüſſigkeitstheile mit der eigenen Molecularaction dieſer Theile geſtört. Es läßt ſich leicht angeben, wovon die concave oder convexe Anordnung der Flüſſigkeit nächſt der Gefäßwand abhängt. Es ſey (Fig. 67) AN die Oberfläche eines an die verticale Wand HK angrenzenden tropfbaren Körpers. Denken wir uns dieſe Oberfläche für einen Augenblick eben und horizontal, und ſehen wir auf die Molecularkräfte, welche ihre Theilchen in der Nähe von A beherrſchen. Sie ſind 1) die Action der Flüſſigkeit auf ſich ſelbſt, 2) die Action der Wand gegen die Flüſſigkeit. Es iſt leicht einzuſehen, daß die durch die Ebenen AN, AK begrenzte Flüſſigkeit auf A eine nach AE, der Halbirungslinie des Winkels KAN, gerichtete Totalkraft ausübt; ferner daß die Kraft, womit die Wand HK auf A wirkt, die Richtung AM hat. Die Reſultirende beider iſt die Kraft, welche das Verhalten der Flüſſigkeit bei A beſtimmt. Fällt die Richtung dieſer Reſultirenden innerhalb des Winkels MAK z. B. nach Ax, ſo nimmt die Oberfläche der Flüſſigkeit, welche ſich ſtets ſo zu ſtel-

len ſtrebt, daß die Kraft, der ſie unterliegt, gegen ſelbe normal gerichtet iſt (180), offenbar eine concave Geſtalt an; fällt aber die Richtung erwähnter Reſultirenden innerhalb des Winkels NAK z. B. nach Ay, ſo erhält die Oberfläche der Flüſſigkeit eine convexe Geſtalt. Sie bleibt eben, wenn dieſe Reſultirende gerade die Richtung AK bekommt. Um die Bedingung näher kennen zu lernen, unter welcher der eine oder der andere Fall eintritt, zerlege man die nach AE wirkende Kraft in zwei nach den Richtungen AN und AK wirkende Componenten, und verbinde die erſtere Componente mit der nach AM gerichteten Kraft, welche die Wand HK gegen die Flüſſigkeit äußert. Je nachdem hiebei der Ausſchlag nach AM oder nach AN erfolgt, wird die Richtung der Reſultirenden aller Kräfte (welche man durch Zuſammenſetzung dieſes Unterſchiedes der auf HK ſenkrechten Kräfte mit der nach AK wirkenden Componente erhält) innerhalb des Winkels MAK oder NAK liegen. Heben ſich die beiden auf HK ſenkrechten Kräfte auf, ſo bleibt die Oberfläche der Flüſſigkeit eben. Die aus der Action der Flüſſigkeit auf ſich ſelbſt nach AN entſpringende Componente iſt die Hälfte der Kraft, welche eine mit ebener Oberfläche verſehene Flüſſigkeit fern vom Einfluſſe einer Gefäßwand auf ſich ſelbſt ausübt. In der That, wäre auch noch der Flächenwinkel HAN mit Flüſſigkeit erfüllt, ſo käme die von dieſer Flüſſigkeit herrührende, nach AE′ gerichtete Action zu der bereits vorhandenen, nach AE wirkenden hinzu; zerlegt man erſtere nach AH und AN, ſo heben ſich die längs HK wirkenden Componenten auf, und die zwei gleichen nach AN gerichteten geben die Action der durch die Ebene HK begrenzten Flüſſigkeit auf ſich ſelbſt. Nennen wir nun dieſe Action P′ und bezeichnen wir durch P die nach AM gerichtete Action der Wand HK auf A, ſo hängt die Geſtalt der Oberfläche, welche die Flüſſigkeitsmaſſe KAN annimmt, von dem Zeichen ab, welches der Differenz $P - \frac{1}{2}P'$ zu Theil wird. Dieſe Oberfläche wird concav, wenn $P > \frac{1}{2}P'$, convex, wenn $P < \frac{1}{2}P'$, und ſie bleibt plan, wenn $P = \frac{1}{2}P'$ iſt. Dieſe Reſultate ſtimmen mit den in 209 erhaltenen vollkommen überein. Auch iſt klar, daß wenn $P > \frac{1}{2}P'$ iſt, die Wand von der Flüſſigkeit benetzt wird.

Befindet ſich eine tropfbarflüſſige Maſſe frei in einem Raume, und nebſt einem von allen Seiten gleichen äußeren Drucke lediglich ihrer Molecularaction überlaſſen, ſo müſſen ſich alle Theile ſo ordnen, daß die Wirkung jeder Kraft durch eine gleiche Gegenwirkung aufgehoben wird. Dieſes kann aber nur ſeyn, wenn die Maſſe die Geſtalt einer Kugel hat. Sobald dieſe Maſſe auch noch von andern Kräften afficirt wird, ſo verliert ſie die Kugelform deſto mehr, je mehr dieſe Kräfte gegen die den Theilchen der Flüſſigkeit eigenen vorwalten. Deßhalb erſcheinen uns auch kleine tropfbare Maſſen in Geſtalt kugelförmiger Tropfen, verlieren aber dieſe Geſtalt, ſobald ſie auf einen Körper kommen, zu dem ſie eine Adhäſion haben, oder ſobald durch zu große Anhäufung der Maſſe der Druck der oberen Theile die unteren zu einer Seitenbewegung zwingt.

217. Man ſtelle ſich durch Oz (Fig. 68) nach allen Seiten Ebenen gelegt vor, welche die krumme Oberfläche der Flüſſigkeit im Allge-

meinen in krummen, einander in O durchkreuzenden Linien Aa, Bb, Cc ꝛc. ſchneiden. Zu jeder dieſer Linien denke man ſich einen, dieſelbe in O berührenden Kreis (Fig. 69), deſſen Lauf an dieſer Stelle dem Laufe der krummen Linie näher kommt, als der irgend eines andern Berührungskreiſes. Man betrachtet die Krümmung eines ſolchen Kreiſes als diejenige, welche die krumme Linie im Puncte O hat, und nennt ihn deßwegen den dieſem Puncte entſprechenden Krümmungskreis. Unter allen hier betrachteten krummen Linien wird in O eine am ſtärkſten, eine andere am ſchwächſten gekrümmt ſeyn, d. h. am Puncte O erſterer der kleinſte, letzterer der größte Krümmungshalbmeſſer entſprechen. Es läßt ſich beweiſen, daß die Ebenen, welche die Oberfläche der Flüſſigkeit in dieſen zwei krummen Linien ſchneiden, auf einander ſenkrecht ſtehen, es wäre denn, daß die Oberfläche wellenförmige Erhöhungen und Vertiefungen hätte, ein Fall, der hier gar nicht in Betrachtung kommen kann. Es ſey nun r der kleinſte und r′ der größte dieſer Krümmungshalbmeſſer, und Q der auf die Flächeneinheit als Baſis bezogene Druck, den die Flüſſigkeit bei O in Folge der Molecularanziehung ihrer Theile auf ſich ſelbſt ausübt, ſo beſteht, wie Laplace durch höheren Calcul gezeigt hat, die Formel

$$Q = H \mp K \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right),$$

wobei H und K poſitive Größen ſind, deren Werthe durch die beſondere Beſchaffenheit der Flüſſigkeit beſtimmt werden, und für eine concave Oberfläche derſelben vor dem zweiten Gliede das obere, für eine convexe das untere Zeichen zu nehmen iſt. Für eine ebene Oberfläche hat man $r = r' = \infty$, alſo $\frac{1}{r} = \frac{1}{r'} = 0$ und demnach $Q = H$. Iſt die Oberfläche der Flüſſigkeit ſphäriſch, was bei einem cylindriſchen Haarröhrchen von kreisförmigem Querſchnitte Statt findet, oder allgemeiner geſprochen, kann ſie durch Umdrehung einer krummen Linie um eine durch den Punct O gehende Axe entſtehen, ſo hat man $r = r'$ zu ſetzen, und daher wird $Q = H \mp 2K.\frac{1}{r}$; iſt ſie cylindriſch, wie es bei einer zwiſchen zwei ebenen Platten enthaltenen Flüſſigkeit ſich ergibt, ſo iſt $r' = \infty$, d. h. $\frac{1}{r'} = 0$ und daher $Q = H \mp K.\frac{1}{r}$.

Die Stellung einer Flüſſigkeit in einem Haarröhrchen wird, wie aus dem Vorhergehenden hinreichend erhellet, durch den Betrag der Differenz $H - Q = \pm K \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)$, d. i. durch den Ueberſchuß der Molecularaction an der äußeren, planen Fläche der Flüſſigkeit über die an der Oberfläche im Haarröhrchen beſtimmt, und es muß alſo, wenn wie früher h die Höhe der gehobenen Säule und s das ſpecifiſche Gewicht der Flüſſigkeit anzeigt, da hier der Druck ſtets auf dieſelbe Baſis, nämlich auf die Flächeneinheit bezogen wird, die Gleichung

$$hs = \pm K \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right) \text{ oder } h = \pm \frac{K}{s}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right)$$

Statt finden, mithin für ein cylindriſches Haarröhrchen $h = \pm \frac{2K}{sr}$, für zwei ebene parallele Platten $h = \pm \frac{K}{sr}$ ſeyn. Der Winkel, welchen die tangirende Ebene der an eine feſte Wand grenzenden Flüſſigkeitsfläche mit der Wand macht, hängt nicht von der Geſtalt der Wand, ſondern nur von dem Material derſelben und der Beſchaffenheit der Flüſſigkeit ab, daher hat r unter übrigens gleichen Umſtänden zum Durchmeſſer des cylindriſchen Haarröhrchens oder zur Diſtanz der Platten ein conſtantes Verhältniß. Man kann alſo, wenn d dieſen Durchmeſſer oder dieſe Diſtanz bedeutet, $r = m\,d$ ſetzen, wobei m der Exponent des erwähnten Verhältniſſes iſt. Auf dieſe Weiſe wird, wenn man noch A ſtatt $\frac{2K}{sm}$ ſchreibt, in dem einen Falle

$h = \frac{A}{d}$, in dem andern $h = \frac{A}{2d}$ wie in 210 und 211.

218. Aus der Verſchiedenheit der Action einer Flüſſigkeit auf ſich ſelbſt nach Maßgabe der Geſtalt ihrer Begrenzung erklärt ſich auch die auffallende Erſcheinung, daß zwei ebene Platten HJ, KL (Fig. 70), zwiſchen welchen eine tropfbare Flüſſigkeit über ihren äußeren Stand MN bis AB ſich erhoben hat, gegen einander gezogen werden, und wenn ſie frei beweglich ſind, ſich wirklich gegen einander bewegen. Betrachten wir nämlich eine Flüſſigkeitsſäule, welche von O, der tiefſten Stelle der concaven Oberfläche der Flüſſigkeit innerhalb der Platten, bis E herabgeht und dann ſeitwärts bis zu dem noch oberhalb der äußeren Oberfläche der Flüſſigkeit liegenden Puncte F der beweglichen Wand KL fortſchreitet. Das eine Ende O dieſer Säule wird ſchwächer herabgezogen als das Ende F einwärts nach FE, weil die Flüſſigkeit am erſteren concav, am letzteren plan iſt, und zwar übertrifft der letztere Zug den erſteren um eine Kraft, welche dem hydroſtatiſchen Drucke der Säule OG, die über die Ebene MN gehoben erſcheint, gleich kommt. Mit dem Zuge bei O herab vereinigt ſich nur der hydroſtatiſche Druck der Säule OE, ſo daß bei F die freie Wirkſamkeit einer einwärts ziehenden Kraft übrig bleibt, deren Stärke dem hydroſtatiſchen Drucke der Säule EG gleich iſt. Es wird alſo jeder Punct der Wand KL, der über MN liegt und zugleich mit Flüſſigkeit im Contacte iſt, um ſo ſtärker einwärts getrieben, je höher er liegt. Alle Stellen der Wand KL unter der Ebene MN aber, die von beiden Seiten mit Flüſſigkeit in Berührung ſind, z. B. U, erleiden auch von beiden Seiten gleichen Druck, denn die Molecular-Actionen bei O und V geben mit den hydroſtatiſchen Effecten der Säulen OR und VS beiderſeits gleiche Summen, und die Molecular-Actionen bei U heben einander auf. Daß zwei Platten, innerhalb welchen die Flüſſigkeit einen tieferen Stand hat, als außerhalb, von der höher ſtehenden äußeren Flüſſigkeit gegen einander gedrückt werden, iſt für ſich klar.

Die Capillarität modificirt daher den Druck, welchen ſchwimmende, aber nicht ganz eingetauchte Körper von der umgebenden Flüſſigkeit erlei-

den; denn es gehen aus der Capillarität zwei horizontal wirkende Kräfte hervor, und ſuchen eine Bewegung im horizontalen Sinne zu erzeugen. Dieſes bemerkt man an leichten ſchwimmenden Körpern, welche in die Nähe des Gefäßrandes kommen. Auch die Bewegung zweier in einer Flüſſigkeit ſchwimmenden Kugeln gehört hieher, die ſich anzuziehen ſcheinen, wenn ſie beide von der Flüſſigkeit benetzt werden oder beide trocken bleiben, hingegen abzuſtoßen, wenn eine benetzt wird, die andere nicht. (Vergl. S 35.)

219. Die hier vorgetragene Theorie läßt ſich auch noch auf andere Erſcheinungen anwenden, die mit denen im Haarröhrchen verwandt ſind; ja ſie gibt von ihnen nicht bloß allgemeine Erklärungen, ſondern ſie beſtimmt ſie dem Maße nach. Mit Leichtigkeit erſieht man aus ihr den Grund folgender Erſcheinungen: Taucht man ein gläſernes Röhrchen in Waſſer oder in Weingeiſt, zieht es dann heraus und hält es vertical, damit ſich unten ein Tropfen bilde, ſo hat die darin befindliche, ſchwebend erhaltene Säule eine doppelt ſo große Länge, als diejenige, welche ſich im Röhrchen erhebt, wenn es mit einem Ende in der Flüſſigkeit ſtehen bleibt. Es iſt nämlich die aufwärts wirkende Molecularaction an der unteren convexen Flüſſigkeitsfläche gerade um das Gewicht der ſchwebenden Säule größer, als die abwärts gerichtete Action an der oberen concaven Fläche. Gießt man Waſſer in eine Communicationsröhre, wovon ein Arm ein Haarröhrchen bildet, ſo ſteht natürlich die Flüſſigkeit in dieſem höher, als im anderen weiteren Arme. Neigt man nun die Röhre nach der Seite des Haarröhrchens hin, ſo nimmt der Höhenunterſchied in beiden Armen beſtändig ab, ſo wie die flüſſige Säule, vermög der Reibung an den Wänden, eine minder concave Oberfläche annimmt. Iſt der enge Schenkel kürzer als der weite, ſo kann man in letzterem Flüſſigkeit ſo zugießen, daß ſie dort einen höheren Stand bekommt, als im engen Schenkel; aber dann iſt der enge Schenkel ganz gefüllt, und die Flüſſigkeit zeigt an ſeinem Ende eine convexe Fläche, an der die Action der darunter liegenden Molekel den Ueberſchuß des hydroſtatiſchen Druckes auf der andern Seite compenſirt. Stellt man zwei reine Glastafeln unter einem ſehr ſpitzigen Winkel zuſammen, und taucht ſie ſo, daß ihre Vereinigungslinie vertical ſteht, in Waſſer, ſo erhebt ſich dieſes, und die Endpuncte der gehobenen Maſſe bilden eine Hyperbel. Hält man ein coniſches, beiderſeits offenes Röhrchen ſo, daß ſeine Axe horizontal liegt, und läßt bei der größeren Oeffnung eine kleine Säule von Waſſer hinein, ſo bewegt ſich dieſe Säule gegen die kleinere Oeffnung zu, und man muß die Axe des Röhrchens etwas gegen den Horizont neigen, um den Tropfen im Steigen zu hindern. Es ſind nämlich hier die concaven Flächen an beiden Enden der Flüſſigkeitsſäule ungleich gekrümmt, und daher iſt auch die Molecularaction an ihnen verſchieden, weßwegen der Action an dem engeren Ende der hydroſtatiſche Druck der Flüſſigkeit zur Herſtellung des Gleichgewichtes zu Hülfe kommen muß. Es läßt ſich hier ſogar der hiezu nöthige Neigungswinkel des Röhrchens berechnen. Ja ſelbſt zwiſchen der Höhe der Flüſſigkeitsſäule, die in einem Haarröhrchen von beſtimmtem Durchmeſſer gehoben wird, und zwiſchen

der Kraft, welche eine Platte von gegebener Größe aus dem Materiale des Röhrchens von der Oberfläche dieſer Flüſſigkeit losreißt, findet eine ſo genau darſtellbare Beziehung Statt, daß ſich dieſe Kraft berechnen läßt, ſobald jene Höhe gegeben iſt.

In die Reihe der Capillaritätsphänomene ſcheinen auch jene zu gehören, welche Dutrochet mit dem Namen Endosmoſe und Exosmoſe belegt hat, und die im Weſentlichen darin beſtehen, daß zwei verſchiedene Flüſſigkeiten, welche durch eine dünne, durchdringliche Scheidewand, z. B. durch eine Blaſe, von einander getrennt ſind, durch dieſe Scheidewand in zwei entgegengeſetzten Strömen mit einander in Communication treten, ſo daß eine der zwei Flüſſigkeiten, und zwar diejenige, welche in einem Haarröhrchen am meiſten gehoben wird, über ihr Niveau emporſteigt. (Dutrochet in Pogg. Ann. 11. 138, 28. 359. Poiſſon ebend. 134. Fiſcher ebend. 126. Schweigger in Schweigger's J. 58. 1. Wach ebend. 58. 20.) Als bloße Haarröhrchenwirkung hat man, nebſt den bereits S. 35 angeführten Erſcheinungen, noch zu betrachten das Aufſteigen, Durchſeihen u. dgl. der Flüſſigkeiten durch poröſe, feſte Körper, wie Löſchpapier, Zucker, Sand; das Walken der Tücher; die Methode den Meliszucker durch feuchten Thon zu reinigen; das Naßwerden eines ganzen Sandhaufens, der auf feuchtem Boden liegt, oder einer Mauer, die auf feuchtem Grunde ſteht; die Wirkung der Kerzen- und Lampendochte; der Nutzen des Papierleimens. Das Wegnehmen eines Tropfens mittelſt Löſchpapier, das Abwiſchen des Schweißes mit einem Tuche geſchieht durch Capillarität. In die Gefäße organiſcher Körper kann eine Flüſſigkeit durch Capillarität aufgenommen, nicht aber darin in Circulation geſetzt werden. Wie groß die Kraft der Capillarität ſey, erſieht man daraus, daß man mittelſt derſelben Mühlſteine losſprengen kann, daß ſich Stricke, die durch bedeutende Gewichte geſpannt ſind, durch ſie verkürzen, wenn ſie naß werden ꝛc. Die Hauptquellen über die Theorie der Capillaritätsphänomene ſind: *Laplace*, Théorie de l'action capillaire, Paris 1806. Auch als Supplement zur Mécanique céleste Tome 4. Im Auszuge in Gilb. Ann. Bd. 33. *Gauss*, Principia generalia theoriae figurae fluidorum in statu aequilibrii, Gottingae 1830. *Poisson*, Nouvelle Théorie de l'action capillaire. Paris 1831. Im Auszuge in Pogg. Ann. 25. 270. Link ebend. 29. 404.)

Sechstes Kapitel.

Gleichgewicht der Kräfte an ausdehnſamen Körpern (Aeroſtatik).

A. Ausdehnſamkeit der Gaſe.

220. Ausdehnſame Körper haben mit tropfbarflüſſigen die abſolut leichte Verſchiebbarkeit ihrer Theile gemein, unterſcheiden ſich aber von denſelben durch ihre Zuſammendrückbarkeit und das damit in Verbindung ſtehende Streben nach Vergrößerung des Volums. Bei genannten Körpern hat nämlich die Abſtoßung der Molekel über die Anziehung ein ſo entſchiedenes Uebergewicht, daß dieſe gänzlich in den Hintergrund tritt; auch das Gewicht der Molekel wird von der zwiſchen ihnen herrſchenden Repulſion vielfach übertroffen. Alle Geſetze

des Gleichgewichtes dieſer Körper gehen aus dem Verhältniſſe ihrer Ausdehnſamkeit zur Schwere und in gewiſſen beſonderen Fällen auch zur Adhäſion hervor, daher wir vor allem die Ausdehnſamkeit als die charakteriſtiſche Eigenſchaft der Gasform zu ſtudiren haben.

221. Es liegt in der ſo eben ausgeſprochenen Weſenheit eines Gaſes, daß es, durch das bloße Streben nach Ausdehnung, gegen jede dasſelbe begrenzende oder in ſeinem Innern angenommene Fläche einen Druck äußert, der ungeändert fortbeſteht, wenn man die übrige Maſſe des Gaſes durch feſte Wände von dem jener Fläche anliegenden Theile abſchließt, alſo von der Anweſenheit der übrigen Maſſe gar nicht abhängt, und lediglich darin ſeinen Grund hat, daß das Gas ſich bereits in einem gewiſſen Zuſtande der Zuſammendrückung befindet und darin erhalten wird. Dieſer Druck kann dazu dienen, das, was man die Spannkraft oder Expanſivkraft des Gaſes nennt, zu meſſen. Um hiebei keiner Zweideutigkeit Raum zu geben, denken wir uns jedes der unendlich kleinen Flächenſtückchen, in welche wir eine Fläche = 1 getheilt annehmen, mit einer Kraft gedrückt, die jener gleich iſt, die gegen ein gleiches unendlich kleines Flächenſtückchen an derjenigen Stelle in einem Gaſe obwaltet, wo die Expanſivkraft gemeſſen werden ſoll. Der Totaldruck, den die Flacheneinheit auf dieſe Weiſe erfährt, iſt das Maß der Expanſivkraft des Gaſes an der bezeichneten Stelle. Man kann daher auch ſagen, die Expanſivkraft eines Gaſes werde an jedem Orte durch den Quotienten gemeſſen, der aus der Diviſion des auf ein unendlich kleines, daſelbſt verzeichnetes Flächenſtückchen Statt findenden Druckes durch dieſes Flächenſtückchen hervorgeht. (Vergl. 190.)

222. Der für uns wichtigſte ausdehnſame Körper iſt die atmoſphäriſche Luft, weßwegen die Betrachtung derſelben hier vorangehen ſoll. Die Möglichkeit, eine mit Luft gefüllte Blaſe zuſammenzudrücken und ihre ſchnelle Ausdehnung, wenn der Druck nachläßt, nebſt dem Umſtande, daß Luft in jeder auch noch ſo geringen Menge das ganze Gefäß einnimmt, in welches ſie eingeſperrt iſt, ſetzen die Ausdehnſamkeit derſelben hinreichend in das Licht. Da dieſes zu allen Zeiten zutrifft, ſelbſt mit Luft, die in verſchloſſenem Raume aufbewahrt wird, wie Roberval's und Muſſchenbroek's Verſuche beweiſen, wo eine Portion Luft mehrere Jahre hindurch eingeſperrt erhalten ward, und man deßhalb gewiß ſeyn konnte, daß der Verſuch genau mit derſelben Luft gemacht wurde; ſo muß dieſe Ausdehnſamkeit wohl für beſtändig gelten. Weder Verdichtung, noch Kälte konnten bis jetzt der ausdehnſamen Form der atmoſphäriſchen Luft etwas anhaben.

223. Die Größe der Expanſivkraft der in ihrem natürlichen Zuſtande befindlichen atmoſphäriſchen Luft läßt ſich leicht durch einen directen Verſuch ausmitteln. Wenn man nämlich eine etwa drei Fuß lange, einige Linien weite, an einem Ende verſchloſſene Glasröhre mit Queckſilber füllt, ſie dann mit dem Finger verſchließt, umwendet und mit dem zugehaltenen Ende vertical in ein Gefäß mit Queckſilber ſtellt,

ſo ſinkt, nachdem man den Finger weggezogen hat, das in der Röhre befindliche Queckſilber (in Wien) ungefähr bis auf 28½ W. Zoll herab und bleibt in dieſer Höhe ſchweben. Daß dieſes nicht von einer Adhäſion herrühre, läßt ſich ſchon aus der erhabenen Oberfläche des Queckſilbers im Glaſe erkennen, ja ſogar augenſcheinlich dadurch zeigen, daß man die Röhre oben öffnet, denn da fällt das Queckſilber alſogleich in das Gefäß hinab. Neigt man die Röhre, ſo bleibt der verticale Abſtand der Oberfläche des Queckſilbers in derſelben von der Queckſilberfläche im Gefäße ungeändert, bis endlich bei ſehr ſchiefer Lage der Röhre dieſe gänzlich mit Queckſilber gefüllt erſcheint. Da hiebei das Queckſilber in der Röhre gegen jenes im untern Gefäße fortwährend denſelben hydroſtatiſchen Druck behauptet, ſo kann wohl die Urſache ſeines höheren Standes in der Röhre keine andere ſeyn, als das Stattfinden eines beſtimmten äußeren Druckes, der jenem hydroſtatiſchen Drucke gleich kommt, auf das Queckſilber im Gefäße. Da ſich der Verſuch auf ähnliche Weiſe auch mit Waſſer machen läßt, mit dem einzigen Unterſchiede, daß dabei die Waſſerſäule 32 Fuß hoch, mithin gerade in dem Verhältniſſe größer erſcheint, in welchem die Dichte des Waſſers geringer iſt, als jene des Queckſilbers, ſo ſteht der auf die Flüſſigkeit im untern Gefäße ausgeübte Druck mit der materiellen Beſchaffenheit derſelben in keinem Zuſammenhange, und kann nach allem hier Geſagten wohl nur der Luft zugeſchrieben werden. In ſofern die Höhe der Queckſilberſäule bei dieſem Verſuche 28½ Zoll beträgt, drückt die Luft auf einen Quadratzoll wie eine Queckſilberſäule von 28½ Kubikzoll Inhalt. Das Gewicht einer ſolchen Säule ergibt ſich leicht aus dem ſpecifiſchen Gewichte des Queckſilbers. Nehmen wir an, der genannte Queckſilberſtand walte bei der Temperatur 0° C. ob, ſo findet man, da die Dichte des Queckſilbers in dieſem Falle 13,598 und das Gewicht eines Kubikzolles Waſſer 1,0439 W. Lothe, alſo das Gewicht eines Kubikzolles Queckſilber 14,1950 W. Lothe beträgt, den verlangten Druck und mit ihm die Expanſivkraft der Luft = 12 W. Pfund 20 Loth 133,7 Gran. Die zu dieſem, von Torricelli zuerſt angeſtellten Verſuche dienende Röhre heißt man die Torricelliſche Röhre, den über dem Queckſilber entſtehenden leeren Raum Torricelliſche Leere.

Zu genanntem Verſuche gab eine mißglückte Unternehmung der Brunnengräber Veranlaſſung, die das Waſſer mittelſt einer Pumpe über 32 Fuß heben wollten und es nicht vermochten. Dieſes würde ihnen gar nicht aufgefallen ſeyn, wenn man nicht damals der Natur eine Scheu vor dem leeren Raume (horror vacui) zugeſchrieben hätte, der doch bei ihrem Verſuche zwiſchen dem Waſſer und dem Kolben der Pumpe entſtanden war. Sie wendeten ſich an den berühmten Galiläi, um in ihrer phyſikaliſchen Verlegenheit Rath zu finden, erhielten ihn aber nicht. Erſt deſſen Schüler Torricelli war es vorbehalten, die wahre Urſache dieſer Erſcheinung (im Jahre 1643) aufzudecken.

224. Der Torricelliſche Verſuch ſtellt die Expanſivkraft der Luft auf eine ſehr anſchauliche Weiſe in der Höhe der Queckſilberſäule dar, welche dem Luftdrucke das Gleichgewicht hält. Statt daher die Expan-

ſivkraft der Luft in Gewichtseinheiten auszudrücken, mithin, wie vorhin gelehrt wurde, die entſprechende Queckſilberhöhe mit dem ſpecifiſchen Gewichte des Queckſilbers für die herrſchende Temperatur zu multipliciren, kann man mit größerer Bequemlichkeit unmittelbar die Höhe der durch die Luft getragenen Queckſilberſäule ſelbſt als Maß der Expanſivkraft der Luft gebrauchen, ein Verfahren, das auch auf Gaſe überhaupt ſich ausdehnen läßt. Die Erfahrung lehrt, daß der Queckſilberſtand in der Torricelliſchen Röhre nicht bloß an verſchiedenen Orten verſchieden iſt, ſondern an demſelben Orte fortwährenden Aenderungen unterliegt, indem er ohne Unterlaß innerhalb gewiſſer Grenzen ſchwankt. (In Wien zwiſchen 27 und 29 Zoll; der mittlere Stand iſt da 28 W. Zoll 4 Lin.) Da nun ſelbſt dem oberflächlichen Blicke ſich ein auffallender Zuſammenhang zwiſchen dieſen Aenderungen und dem Gange der Witterung darſtellt, ſo hat die Torricelliſche Röhre, mit einer Scale zur Beobachtung des Queckſilberſtandes verſehen, unter dem Namen Barometer allgemeines Intereſſe gefunden. Der Phyſiker fordert von dieſem Inſtrumente mehr als eine bloße Andeutung einer Statt gehabten Aenderung des Luftdruckes; es ſoll denſelben genau zu meſſen geſtatten. Zu dieſem Zwecke muß die Röhre, wenigſtens um das Ende der Queckſilberſäule herum, gleich weit, nicht enger als eine Linie ſeyn, eine gute in Zolle und Linien eingetheilte Scale, und wo möglich auch einen Nonius nebſt einer Viſirvorrichtung zur genauen Beziehung des Endes der Queckſilberſäule auf die Scale haben; das Queckſilber, welches in die Röhre eingefüllt wird, muß rein und gut ausgetrocknet ſeyn, und in der Röhre ſelbſt ſo lange gekocht werden, bis ſich ſelbſt während des Kochens keine Luftblaſe mehr zeigt.

Nur dann iſt der über dem Queckſilber befindliche Raum völlig luftleer, und das Barometer weiſet den gehörigen Queckſilberſtand. Bei dem Auskochen eines Barometers iſt ſorgfältig darauf zu achten, daß kein Queckſilberoxyd entſtehe, welches mit dem metalliſchen Queckſilber eine Maſſe bildet, die ſich an das Glas anhängt. Man hat vorgeſchlagen, um dieß zu verhüten, in die mit Queckſilber gefüllte Röhre zu wiederholten Malen Waſſerſtoffgasblaſen aufſteigen zu laſſen und ſie wieder durch Umkehren der Röhre zu entfernen, damit die rückſtändige Luft nur aus dieſem Gaſe beſtehe, das nicht bloß keine Oxydbildung geſtattet, ſondern für das etwa ſchon vorhandene beim Kochen als Reductionsmittel dient. (Zeitſchrift 10. 234.) Das Queckſilber im Barometer nicht zu kochen, wie neueſtens wieder empfohlen worden iſt, um die Adhäſion deſſelben an das Glas zu vermeiden, iſt nicht gut und ein Rückſchritt in der Phyſik, indem man ſich, um einem Fehler auszuweichen, einem größeren Preis gibt. Wenn man zu Barometerröhren ſehr hartes Glas wählt, macht die Adhäſion wenig Unſicherheit.

225. Ohne die Künſteleien anzuführen, durch die man Barometer empfindlicher zu machen oder in zierliche Möbel umzuſtalten ſuchte, wie man dieſes an Huyghen's und Hook's Doppelbarometer, an des letzteren Radbarometer, an Morland's Winkelbarometer, an Bernoulli's rechtwinkeligem Barometer ꝛc. ſehen kann, geben wir nur drei verſchiedene Formen derſelben an. Zum täglichen Gebrauche, wo nicht die größte Genauigkeit nothwendig iſt, dient das Barometer

mit dem birnförmigen Gefäße A (Fig. 71), welches Gefäß im Verhältniß zur Röhre B weit genug iſt, damit beim Steigen und Fallen des Queckſilbers in der Röhre die Veränderungen im Gefäße ſo klein als möglich ausfallen. Zu genaueren Beobachtungen bedient man ſich des eigentlichen Gefäßbarometers, von der Form Fig. 72, wo B wieder die Barometerröhre, A aber ein weites, cylindriſches Gefäß vorſtellt, deſſen unterer Boden durch eine Schraube c gehoben oder geſenkt werden kann, um dadurch die Oberfläche des Queckſilbers immer in demſelben Stande zu erhalten. Gut iſt es, die Mündung des Barometerrohres zu verengen, und das Ende, woran ſie ſich befindet, aufwärts zu krümmen, um das Eintreten von Luft in die Röhre zu hindern. Bei täglichen Beobachtungen kann man von den Veränderungen des Queckſilbers im Gefäße A ganz abſehen, wenn letzteres weit genug iſt; will man aber genaue Reſultate erhalten, ſo muß die Oberfläche des Queckſilbers daſelbſt bei jeder Beobachtung den Stand haben, welcher dem Nullpuncte der Scale entſpricht. Dieſes erhält man, wenn man mittelſt der Schraube c das Queckſilber ſo weit hebt oder ſenkt, bis deſſen Oberfläche an die Spitze eines feinen, eigens angebrachten Stiftes reicht, oder bis ein darauf ſchwimmendes, durch den Deckel der Queckſilberbüchſe hervorragendes Stängelchen eine beſtimmte Höhe erreicht hat. Fig. 73, a und b ſtellen dieſe zwei Einrichtungen der Queckſilberbüchſe beſonders vor, von welchen jedoch die erſte den Vorzug verdient. Erhebt man mittelſt der Schraube c den mit Leder gefütterten Boden des Queckſilbergefäßes, bis er an die Glasröhre angepreßt iſt (in welcher man vorläufig das Queckſilber durch Neigen bis an die Wölbung ſteigen gemacht hat), oder wenigſtens das Queckſilber in dem Gefäße ſo einengt, daß es ſich nicht bewegen kann; ſo iſt das Inſtrument geſperrt und zum Transport geeignet. Damit aber die durch Wärme bewirkte Ausdehnung des Queckſilbers im geſperrten Zuſtande die Röhre nicht ſprenge und bei der Zuſammenziehung deſſelben durch Kälte kein leerer Raum entſtehe, muß der Boden des Queckſilbergefäßes elaſtiſch ſeyn, damit er ſich immer an das Queckſilber anſchließe, wenn es ſich zuſammenzieht, und ihm auch nachgebe, wenn es ſich ausdehnt. Das vollkommenſte Barometer iſt ohne Zweifel das Heberbarometer (Fig. 74). Es beſteht aus einer heberförmig gebogenen Röhre, wovon der kürzere Schenkel denſelben Durchmeſſer hat, wie der längere dort, wo die Queckſilberſäule ſpielt. Wenn ein ſolches Inſtrument gehörig von Luft gereinigt iſt, ſo gibt a b, als der Höhenunterſchied der Queckſilberſäule in den beiden Schenkeln, den Luftdruck an. Steigt das Queckſilber im längeren Arme, ſo fällt es im kürzeren und umgekehrt. Es iſt zwar die Länge der Queckſilberſäule in d c eben ſo veränderlich, wie in a b, aber die Größen dieſer Veränderungen werden nur dann einander vollkommen gleich ſeyn, wenn die beiden Schenkel vollkommen gleiche Durchmeſſer haben, eine Eigenſchaft, die man gar ſelten findet. Wäre dieſe Eigenſchaft leichter zu erhalten, ſo dürfte man nur die Höhe a b ein = für allemal von a bis b meſſen, ihr Maß in b verzeichnen und die Veränderungen in b doppelt neh=

men, ohne die in c zu berückſichtigen. Um ſich aber auf eine ſo ſchwer zu erhaltende Sache nicht verlaſſen zu dürfen, macht man die Röhre beweglich, indem man ſie in d an eine Schraubenmutter befeſtiget, welche durch die am Brete ABCD angebrachte Schraube e gehoben oder geſenkt werden kann. Bevor man die Barometerhöhe beobachtet, ſchraubt man die Röhre ſo, daß die Oberfläche des Queckſilbers einem fixen Puncte c entſpricht.

Eine ſehr einfache, von Gay Luſſac angegebene Form des Heberbarometers zeigt Fig. 75. Hiebei iſt die Poſition des Rohres gegen die Scale nicht veränderlich, ſondern man beobachtet an einer fixen, entweder auf dem Rohre ſelbſt oder auf der metallenen Hülſe, in der das Rohr eingeſchloſſen iſt, verzeichneten Scale den Queckſilberſtand in beiden Schenkeln, und addirt oder ſubtrahirt die correſpondirenden Zahlen, je nachdem der Nullpunct der Scale zwiſchen den beiden Queckſilberflächen liegt, oder das Gegentheil Statt findet. Mehr über dieſen Gegenſtand in: Luz vollſtändige und auf Erfahrung gegründete Beſchreibung von Barometern. Nürnberg und Leipzig, 1784; Gehler's phyſ. Wörterbuch, neu bearbeitet. Art. Barometer. Kupffer in Pogg. Ann. 26. 446. Buff ebend. 31. 266.

226. Um Barometerbeobachtungen, welche an verſchiedenen Inſtrumenten und unter verſchiedenen Umſtänden angeſtellt worden ſind, mit einander vergleichbar zu machen, muß man auf die Verminderung des Barometerſtandes wegen der Enge des Rohres (Capillardepreſſion) und auf die Veränderung des ſpecifiſchen Gewichtes des Queckſilbers und der Länge der Scale bei wechſelnder Temperatur Rückſicht nehmen. Der erſte Umſtand erzeugt eine conſtante, der zweite eine veränderliche Differenz der Barometerſtände. Die Capillardepreſſion übt bei einem Heberbarometer, deſſen beide Schenkel an den Stellen, wo die Queckſilberflächen ſich auf und ab bewegen, über 2½ W. Lin. weit ſind und möglichſt gleiche Durchmeſſer haben, da ſie hiebei ſchon an ſich betrachtet geringfügig iſt, und in dem einen Schenkel nahe ſo viel beträgt, als in dem andern, auf die Angabe des Barometerſtandes keinen merklichen Einfluß aus, und nur bei engeren Röhren äußert ſich der Umſtand, daß die Queckſilberfläche auf der einen Seite an einen luftleeren Raum grenzt, während ſie auf der andern mit feuchter Luft in Berührung ſteht, in wahrnehmbarem Grade, und nöthiget zu einer Correction, die man nach dem Durchmeſſer der Röhre und der Höhe der Wölbung, mit der das Queckſilber ſich endiget, mittelſt Rechnung oder mit Hülfe einer Tabelle verrichtet. Eben ſo iſt die Capillarwirkung bei einem Gefäßbarometer mit ſehr weitem Rohre unmerklich. Man nennt ſolche Barometer, bei denen die Capillardepreſſion wegfällt, Normalbarometer. Bei Gefäßbarometern mit engeren Röhren kann man den durch Rechnung oder durch Vergleichung mit einem Normalbarometer ausgemittelten Höhenunterſchied der Queckſilberſäule wegen der Capillarität ſchon bei der Anordnung der Scale ein für alle Mal corrigiren, indem man den Nullpunct der Scale um das Erforderliche tiefer ſetzt. Von größerem Belange bei Barometerbeobachtungen aber iſt die Rückſicht auf die Temperatur des

Queckſilbers. Man berechnet alle Beobachtungen, um in ſelbe Harmonie zu bringen, ſo, als ob ſie bei einer und derſelben Temperatur, welche man die Normaltemperatur nennt, und wofür man allgemein 0° C. anzunehmen pflegt, angeſtellt worden wären. Die an den Beobachtungen dieſerwegen zu machende Correction beruht auf der Thatſache, daß ſich die Länge einer Queckſilberſäule, die bei 0° C. als Einheit angenommen wird, für jeden Wärmegrad um $^1/_{5550}$ ändert. Heißt daher b die bei t° C. beobachtete und b′ die auf 0° reducirte Barometerhöhe, ſo iſt wegen

$$b' + \frac{b' t}{5550} = b, \; b' = b : \left(1 + \frac{t}{5550}\right)$$

oder b′ nahe gleich $b - \frac{bt}{5550}$, wo t poſitiv oder negativ zu nehmen iſt, je nachdem das Thermometer über oder unter dem Eispuncte ſteht. Eben ſo wird die Correction wegen der Temperatur der Scale vollzogen; ſie iſt ſtets viel geringer als die erſtere, hat das entgegengeſetzte Zeichen, und kann in der Regel auf nicht mehr als den zehnten Theil derſelben angeſchlagen werden.

227. Man erſieht hieraus die wechſelſeitige Abhängigkeit zwiſchen Barometer und Thermometer. Die Beſtimmung des Siedpunctes des Thermometers und folglich die Gradlänge deſſelben hängt vom Barometerſtande ab, der ſeinerſeits wieder nach dem Thermometerſtande zu corrigiren iſt. Durch ſucceſſive Correctionen bringt man es leicht dahin, beide Inſtrumente von jedem merklichen Fehler zu befreien. Der Luftdruck, auf welchen man die Feſtſetzung des Siedpunctes, wie auch andere in der Folge vorkommende Reductionen bezieht, wird durch den ſogenannten Normalbarometerſtand angegeben. Meiſtens wählt man dazu jenen, dem die bei 0° C. Statt findende Queckſilberhöhe von 28 Pariſer Zoll = 28,774 W. Zoll = 28 W. Z. 9,29 Lin. = 757,96 Millimeter entſpricht. Doch ziehen andere den, von den neueren franzöſiſchen Phyſikern hiezu adoptirten Stand von 760 Millimetern = 28,851 W. Zoll = 28 W. Z. 10,22 Lin. = 28 Par. Z. 0,905 Lin. vor. In dieſem Werke wird jedesmal ausdrücklich geſagt, auf welche dieſer Annahmen eine Angabe ſich bezieht. Der Luftdruck bei dem Normalbarometerſtande 28 P. Z. (nahe 12³/₄ W. Pfund), iſt die Kraft, welche man unter der Benennung eine Atmoſphäre zu verſtehen und der Meſſung ſtärkerer Kraftäußerungen als Einheit unterzulegen pflegt.

228. Ueber die Abhängigkeit der Expanſivkraft eines Gaſes nach dem oben (221) aufgeſtellten Begriffe von der zwiſchen ſeinen kleinſten Theilchen obwaltenden Abſtoßung läßt ſich im Allgemeinen wenig ſagen. Bleibt die Dichte des Gaſes, mithin die relative Stellung der Theilchen ungeändert, ſo iſt offenbar ſeine Expanſivkraft dieſer Abſtoßung proportionirt. Allein wenn ſich die Dichte des Gaſes ändert, kann man dieß nicht mehr gelten laſſen. Eben ſo wenig kann man von dem Verhältniſſe der Expanſivkräfte zweier Gaſe auf das Verhältniß der Energie der Abſtoßung ihrer Molekel einen ſichern Schluß machen, und

nur dann, wenn es gewiß wäre, daß beide Gaſe in einerlei Raum gleich viel Molekel enthalten, könnte man letztere Kräfte den erſteren proportional ſetzen. Sollte uns ja das bis jetzt unbekannte Geſetz, nach welchem ſich die abſtoßende Kraft der Molekel richtet, einſt bekannt werden, ſo kann es nur mittelbar durch gehörige Beachtung der Erfahrungsdaten geſchehen; daher iſt es jedenfalls nöthig, die Umſtände, nach denen ſich die Druckkraft eines Gaſes richtet, aufzuſuchen und deren Einfluß zu erforſchen. Die Umſtände, welche die Expanſivkraft eines Gaſes beſtimmen, ſind der Erfahrung zu Folge die Dichte, die Temperatur und die materielle Beſchaffenheit des Gaſes. In der That zeigen ſchon die oberflächlichſten Beobachtungen, durch welche man die Eigenſchaft der Ausdehnſamkeit der Gaſe kennen lernt, daß die Expanſivkraft eines Gaſes zunimmt, wenn man dasſelbe verdichtet, denn es iſt ja hiezu ſtets ein Steigerung des äußeren Druckes nothwendig. Durch Erwärmung wächſt die Expanſivkraft der Luft oder eines andern Gaſes gleichfalls, wie das Anſchwellen einer damit gefüllten Blaſe über einem Kohlenfeuer beweiſet. Wie ſehr endlich die Expanſivkraft von der ſpeciellen Natur eines Gaſes abhängt, zeigt die Erfahrung, daß Waſſerſtoffgas bei viel geringerer Dichte als atmoſphäriſche Luft dem Drucke dieſer das Gleichgewicht hält, mithin das Gas eine weit größere Energie der ſeinen Theilchen inwohnenden Abſtoßung zeigt, als die atmoſphäriſche Luft. Wir wollen nun die Beziehung der Expanſivkraft zu den genannten Umſtänden näher ins Auge faſſen.

229. Wenn man in eine gebogene Röhre ABC (Fig. 76) mit verticalen Schenkeln, wovon der kürzere verſchloſſen iſt, Queckſilber gießt, ſo daß es im längeren bis D, im kürzeren bis E reicht; ſo erleidet die in EC eingeſchloſſene Luft einen Druck von der äußeren Luft und von der Queckſilberſäule DF, dem der von ihrer Ausdehnſamkeit und von ihrem Gewichte herrührende Gegendruck das Gleichgewicht hält. Man kann hiebei das Gewicht der Luftmaſſe EC als unmerklich außer Acht laſſen. Bezeichnet man alſo die bei dem Verſuche Statt findende Barometerhöhe durch b, und die Höhe der Queckſilberſäule DF durch a, ſo kann der Druck einer Queckſilberſäule von der Höhe $b + a$ als das Maß der Ausdehnſamkeit der Luft in EC angeſehen werden. Vermehrt man die Queckſilberſäule a langſam und mißt dabei immer den Raum, welchen die Luft EC einnimmt; ſo lehrt die Erfahrung, daß letzterer mit der Summe $b + a$ fortwährend genau in verkehrtem Verhältniſſe ſteht, die Luft mag übrigens atmoſphäriſche oder eine andere, oder gar ein Gemiſch von mehreren ſeyn, wenn ſie nur vor dem Verſuche gut ausgetrocknet wird, und während des Verſuches keine Aenderung ihrer Temperatur vorgeht. Ein gleiches Reſultat findet man, wenn man die Luft, ſtatt ſie zu verdichten, durch Verminderung der drückenden Kraft verdünnt. Man braucht dazu eine etwa 30 Zoll lange Barometerröhre (Fig. 77), die auf einer Seite offen, auf der andern mit einem Hahne B verſchloſſen iſt, und eine eben ſo lange zweite, aber viel weitere und unten geſchloſſene

Röhre C. Dieſe wird zum Theile mit Queckſilber angefüllt und erſtere Röhre darein getaucht, nachdem zuvor ihr Hahn geöffnet worden iſt. Sobald die Einſenkung auf eine beliebige Tiefe geſchehen iſt, ſchließt man den Hahn, und bemerkt das Volum der in der Röhre enthaltenen Luft, die offenbar einen Druck erleidet, dem der jedesmalige Barometerſtand b entſpricht, hebt ſie dann um ein beliebiges Stück aus dem Queckſilber heraus, ohne jedoch ihr Ende über dasſelbe hervortreten zu laſſen, und mißt den von der Luft eingenommenen Raum wieder. Hat die Queckſilberſäule in der engen Röhre eine Höhe a, ſo erleidet die Luft darin einen Druck b — a, und dieſer Druck wird ſtets dem Luftvolum verkehrt proportionirt gefunden. Da die Dichte eines Körpers mit dem Volum, das er einnimt, in verkehrtem Verhältniſſe ſteht, ſo läßt ſich dieſes Geſetz, welches Boyle und Mariotte faſt zu gleicher Zeit kennen lehrten, und das nach Letzterem, der es in ſeinem ganzen Umfange entwickelte, das Mariotte'ſche genannt wird, ſo ausdrücken: Die Ausdehnſamkeit der Luft iſt ihrer Dichte proportionirt. Es hat ſich bei der atmoſphäriſchen Luft, ſelbſt noch bei einer 27fachen Verdichtung und einer 112fachen Verdünnung, vollkommen bewährt. (Zeitſchr. 8. 114.)

Nach Oerſted (Schweigg. J. 45. 352) gilt es nicht bloß für atm. Luft, ſondern auch für viele andere Gasarten bis zu einer 66maligen Verdichtung; aber nach Despretz's noch einer weiteren Beſtätigung erheiſchenden Verſuchen (Schweigg. J. 51. 108) ſoll Waſſerſtoffgas ſchon bei einer 15maligen, Cyan- und Ammoniakgas, ſo wie das ſchwefeligſaure und ſchwefelwaſſerſtoffſaure Gas bei einer zweifachen Verdichtung von dieſem Geſetze abweichen. Wiewohl aber die Grenzen, innerhalb welchen dieſes Geſetz für Gaſe gilt, noch nicht feſtgeſetzt ſind, ſo liegt doch das Daſeyn ſolcher Grenzen in der Natur der Gaſe. Es iſt nämlich ſehr wahrſcheinlich, daß alle ausdehnſame Körper nur einen gewiſſen Druck ertragen, ohne tropfbar zu werden. Ueberſchreitet man dieſen Druck, ſo kommen ſich die Theile des Gaſes näher, als es mit dem Beſtehen ſeiner Ausdehnſamkeit verträglich iſt, es muß ein Theil deſſelben tropfbar werden, und das Mariotte'ſche Geſetz hört auf zu dem vorliegenden Falle zu paſſen, weil die Verringerung des Volums keine weitere Verdichtung des Gaſes, ſondern lediglich die Formänderung eines Theiles deſſelben herbeiführt. Dieſes hat Oerſted erfahren, als er atmoſphäriſche Luft und ſchwefeligſaures Gas mit einander in Betreff ihres Verhaltens gegen drückende Kräfte verglich. Beide befolgten nur bis zu einer 2¹/₄maligen Verdichtung einerlei Gang; weiter hinaus wuchs bei demſelben Drucke die Dichte des ſchwefeligſauren Gaſes ſchneller als die der atm. Luft; bei einer 3.27maligen Verdichtung war ſchon die tropfbare Flüſſigkeit bemerklich, welche das letztere Gas geliefert hatte. Zur Anſtellung ſolcher Verſuche eignet ſich vorzüglich der oben (182) beſchriebene Compreſſionsapparat, in den man Röhren einſetzt, welche die zu vergleichenden Gaſe enthalten, und durch Queckſilber geſperrt ſind. Eben ſo kann das Mariotte'ſche Geſetz bei der Verdünnung eines Gaſes nur ſo lange Anwendung finden, bis die Ausdehnſamkeit deſſelben mit der Schwere ins Gleichgewicht getreten iſt, indem von dieſem Puncte an bei einer ferneren Verminderung der drückenden Kraft keine weitere Ausdehnung des Gaſes erfolgt.

230. Mit Hülfe des Mariotte'ſchen Geſetzes läßt ſich das Volum V eines bei einem gewiſſen Drucke B mit Flüſſigkeit abgeſperr-

ten Gaſes auf jenes reduciren, welches es unter übrigens gleichen Umſtänden bei einem andern Drucke b einnehmen würde. Der Druck, von dem hier die Rede iſt, wird nicht allein durch die Barometerhöhe, ſondern auch durch den Stand der Sperrflüſſigkeit in und außer dem Recipienten beſtimmt. Nennt man das zu ſuchende Volum v, ſo iſt

$$v : V = B : b, \text{ mithin } v = \frac{VB}{b}.$$

Eben ſo kann man, wenn zwei Luftmaſſen bei einerlei Expanſivkraft E verſchiedene Volumen V, V' einnehmen, das Verhältniß ihrer Expanſivkräfte finden, wenn ſie unter gleichen Umſtänden dasſelbe Volum, z. B. v, einzunehmen genöthiget werden. Nennt man nämlich die Expanſivkräfte der Gaſe in dem letzteren Falle e, e′, ſo hat man einerſeits $e : E = V : v$ und andererſeits $e' : E = V' : v$, mithin $e : e' = V : V'$, d. h. das zu ſuchende Verhältniß der Expanſivkräfte iſt jenem der gegebenen Luftvolume gleich.

231. Verſuche über die Zunahme der Expanſivkraft der Luft bei Erhöhung der Temperatur wurden von Lambert, Dalton, Gay-Luſſac, von Dulong und Petit, von Davy und neuerlich von Rudberg mit beſonderer Genauigkeit angeſtellt. Gay-Luſſac bediente ſich dazu einer wohl ausgetrockneten Thermometerröhre, die dem Raume nach in gleiche Theile getheilt und mit einer Kugel verſehen war, deren Kubikinhalt zu jenem der Röhre in einem hinlänglich großen und bekannten Verhältniſſe ſtand. Dieſe wurde mit der zu prüfenden, gut ausgetrockneten Luft zum Theile angefüllt, durch eine kleine, bewegliche Queckſilberſäule (Index) geſchloſſen, horizontal in ein Waſſer- oder Queckſilberbad gelegt, dem man verſchiedene Wärmegrade mittheilen konnte, die Größe des Volums der Luft bei jedem Grade gemeſſen, und zugleich der jedesmalige Barometerſtand angemerkt. Die in der Kugel und Röhre eingeſchloſſene Luft treibt hier, wenn ihre Temperatur ſteigt, wegen der dadurch herbeigeführten Vergrößerung ihrer Expanſivkraft, den Index gegen das offene Ende der Röhre; in dem Maße aber, als dieſe Luft ein größeres Volum erhält, nimmt ihre Expanſivkraft ab, und ſobald dieſe wieder jener der äußeren Luft gleich geworden iſt, bleibt der Index ſtehen. Bei eintretender Temperaturverminderung erfolgt das Umgekehrte. Hier kann man ſogleich die in 230 erhaltenen Reſultate in Anwendung bringen. Erſtens laſſen ſich die bei verſchiedenen Barometerſtänden gemeſſenen Luftvolume ſo darſtellen, als ob ſämmtliche Beobachtungen bei einerlei Luftdruck gemacht worden wären. Zweitens geben die bei verſchiedenen Temperaturen beobachteten Luftvolume nach dieſer Reduction das Verhältniß der Expanſivkräfte an, welche die eingeſchloſſene Luft geäußert haben würde, wenn ihr keine Volumsänderung geſtattet, alſo ihre Dichte ſtets gleich erhalten worden wäre, ſo daß bei Gay-Luſſac's Verſuchen ſich der Einfluß der Temperatur auf die Expanſivkraft der Luft durch Betrachtung des Standes des Index, nach genommener Rückſicht auf den äußeren Druck unmittelbar vor Augen ſtellte. Dieſer Gelehrte bewies auf ſolchem Wege, 1) daß ſowohl atmoſphäriſche

Luft, wie auch jedes andere Gas oder Gasgemenge unter conſtantem Drucke, bei dem Uebergange von einer Temperatur zu einer andern, vorausgeſetzt, daß dieſelben über dem Condenſationspuncte jedes Gaſes liegen, eine dem urſprünglichen Volum proportionirte Volumsänderung erleiden, und 2) daß dieſe Volumsänderung bei einerlei Größe des anfänglichen Volums und einerlei Temperaturen für alle Gaſe gleich groß iſt. Ueberdieß fand Gay-Luſſac, daß, wenn die Temperaturen mittelſt des Queckſilberthermometers beſtimmt werden, wenigſtens für Temperaturen, welche nicht über den Siedpunct hinausgehen, die Aenderung des bei 0° C. Statt findenden Volums eines trockenen Gaſes mit der Temperatur in geradem Verhältniſſe ſteht. — Gay-Luſſac gab, ſeinen Beobachtungen zu Folge, die Ausdehnung trockener Luft unter conſtantem Drucke bei einer Temperaturänderung von 0° bis 100° C., in Theilen des Volums bei 0° C., gleich 0,375 = $^3/_8$ an, wornach die Volumsänderung der Luft für jeden einzelnen Grad der hunderttheiligen Thermometerſcale 0,00375 oder nahe $^1/_{267}$ des Volums bei 0° C. betragen würde. Dieſes Reſultat hatte ſchon vor langer Zeit Lambert erhalten, und die ſpäteren Beobachtungen von Dulong und Petit, wie auch von Davy beſtätigten dasſelbe. Allein die zahlreichen, mit einander ſehr gut übereinſtimmenden, und wegen der Genauigkeit des Verfahrens ein beſonderes Zutrauen verdienenden Verſuche Rudberg's geben ein etwas verſchiedenes Reſultat. Rudberg hat bei ſeinen Verſuchen zwei verſchiedene, dem Verfahren Gay-Luſſac's gewiſſermaßen entgegengeſetzte Wege eingeſchlagen. Er hat ſowohl die Volumsverminderung der von der Siedhitze des Waſſers bis zum Schmelzpuncte des Eiſes abgekühlten Luft beobachtet (Pogg. Ann. 41. 271), als auch die Vergrößerung der Expanſivkraft gemeſſen, welche einer trockenen Luftmaſſe unter demſelben Volum durch Erwärmung von 0° bis zur Siedhitze des Waſſers zu Theil wird (Pogg. Ann. 44. 119). Er fand ſo, daß die Ausdehnung trockener atmoſphäriſcher Luft von 0° bis 100° C. nur 0,364 bis 0,365 ihres Volums bei 0° C. ausmacht, wornach die Volumsänderung derſelben für einen Centeſimalgrad zwiſchen 0,00364 und 0,00365 fällt, mithin nahe gleich $^1/_{274}$ geſetzt werden kann. Bezeichnen wir letztere Zahl, welche man den Ausdehnungscoefficienten der Gaſe nennt, durch α, ferner zwei verſchiedene Temperaturen einer Luftmaſſe nach der Centeſimalſcale eines Queckſilberthermometers durch T, T'; die Expanſivkräfte, welche derſelben dabei unter einer gewiſſen conſtanten Dichte zukommen, durch E, E'; das Volum, welches dieſe Luft bei irgend einem Drucke und der Temperatur 0° C. annehmen würde, durch v, und die Volume derſelben bei dieſem Drucke und bei den oben genannten Temperaturen durch V, V', ſo iſt, in ſofern T, T' nicht über 100° C. fallen, nach dem Obigen

$$V = v + \alpha v T = v(1 + \alpha T) \text{ und eben ſo}$$

$V' = v(1 + \alpha T')$; ferner hat man $E : E' = V : V'$, daher iſt $E : E' = 1 + \alpha T : 1 + \alpha T'$. Hat aber die hier betrachtete Luftmaſſe, während ihr die Temperaturen T, T' zukommen, verſchiedene

Dichten D, D′, und bezeichnen wir die dabei Statt findenden Expanſivkräfte wieder durch E, E′, ſo ergibt ſich mit Zuhülfenahme des Mariotte'ſchen Geſetzes die Proportion

$$E : E' = D\,(1 + \alpha T) : D\,(1 + \alpha T').$$

Rudberg's erſtes Verfahren zur Beſtimmung des Werthes von α beſteht in Folgendem: Eine Glaskugel, etwa 120 bis 150 Gramme Queckſilber faſſend und in eine Thermometerröhre auslaufend, welche durch Chlorcalcium wohl getrocknete Luft enthielt, wurde bei bekanntem Barometerſtande der Siedhitze des Waſſers ausgeſetzt, dann die Spitze der Röhre zugeſchmolzen und die Kugel gewogen. Hierauf wurde die Röhre in Queckſilber getaucht, durch Abbrechen der Spitze unter Queckſilber geöffnet, die Kugel mittelſt ſchmelzenden Schnees auf 0° erkaltet, die Spitze der Röhre mit Klebwachs unter Queckſilber geſchloſſen, ſogleich der Barometerſtand notirt, dann die Höhe, zu welcher das Queckſilber über das die Röhre umgebende Niveau durch den äußern Luftdruck in die Kugel getrieben war, genau gemeſſen, und die Kugel ſammt dem darin befindlichen Queckſilber, nach Abſonderung des Wachſes, gewogen. Endlich wurde die Kugel ſammt Röhre mit Queckſilber gefüllt, durch Auskochen desſelben von aller Luft befreit, und während die (zu dieſem Behufe vorher umgebogene) Spitze der Röhre in Queckſilber tauchte, auf 0° C. gebracht, ſo daß das ganze Gefäß mit Queckſilber von der Temperatur 0° C. gefüllt war, hierauf dieſes wieder der Siedhitze des Waſſers ausgeſetzt, der Barometerſtand beobachtet, und ſowohl das während der Erhitzung der Kugel ausgefloſſene Queckſilber, wie auch das in der Kugel zurückgebliebene gewogen. Die Temperatur des ſiedenden Waſſers wurde nicht mittelſt eines Thermometers gemeſſen, ſondern (nach oben (37) bereits erwähnten und ſpäter genauer zu erörternden Gründen) aus dem Barometerſtande abgeleitet. Es handelt ſich hier, zur Ausmittelung der in der Frage ſtehenden Ausdehnung der Luft, bloß um die Vergleichung des anfänglichen Volums der heißen Luft mit dem nachherigen der abgekühlten, nachdem beide auf einerlei Druck reducirt worden, was mittelſt der beobachteten Barometerſtände und der Höhe der in das Gefäß eingetretenen Queckſilberſäule, die von dem gleichzeitigen Barometerſtande abzuziehen iſt, leicht geſchehen kann. Durch das Verhältniß des Gewichtes des Queckſilbers, welches aus der bei 0° C gefüllten Kugel und Röhre während der Erhitzung abfloß, zu dem Totalgewichte des Queckſilbers, wird das Verhältniß des Ueberſchuſſes der Ausdehnung des Queckſilbers über jene des Glaſes zu dem vergrößerten Volum der geſammten Queckſilbermaſſe, mithin, da die Dilatation des Queckſilbers aus Dulong's und Petit's Verſuchen auf das Genaueſte bekannt iſt, die Dilatation des Glaſes gegeben. Hierdurch und durch das Verhältniß des Volums der Kugel und Röhre bei 0° C. zu jenem Volum, das die Luft nach der Abkühlung einnahm, welches Verhältniß jenem des Totalgewichtes des Queckſilbers zu dem Unterſchiede zwiſchen dieſem und dem Gewichte des in die Kugel während der Abkühlung eingetretenen gleich kommt, hat man alle Daten zur Löſung des Problems.

Das zweite Verfahren gründet ſich auf den Gebrauch des Apparates, Fig. 78. A iſt ein Queckſilberbehälter, jenem eines Gefäßbarometers ähnlich, deſſen Volum mittelſt der Schraube B, welche den mit Leder gefütterten Boden des Gefäßes hebt und ſenkt, verengert und erweitert werden kann. In den Deckel des Gefäßes iſt ſowohl das oben offene Glasrohr CD, als auch das Rohr E, welches nach oben durch das engere Rohr FG mit dem cylindriſchen Gefäß H in Verbin-

dung ſteht, eingekittet. In letzterem befindet ſich wohl ausgetrocknete Luft, die, wenn der Behälter A und das Rohr CD bis x mit Queckſilber gefüllt iſt, und das Gefäß H auf 0° C. erkältet wird, bis a reicht, während E Queckſilber enthält. Erhitzt man die Luft in H mittelſt ſiedenden Waſſers, wodurch ihre Expanſivkraft wächſt, und das Queckſilber in FG herab und in CD hinauf gedrückt wird, ſo kann man mit Hülfe der Schraube B die Luft auf das frühere Volum zurückdrängen, wobei, wenn das Queckſilber in FG wieder bis a geſtellt worden iſt, es in CD bis y geſtiegen ſeyn wird. Der Höhenunterſchied des Queckſilbers in den Röhren CD und FG wird an einer hiezu angebrachten Scale gemeſſen. Die Capillardepreſſion des Queckſilbers in FG muß vor der Zuſammenſtellung des Apparates beſtimmt worden ſeyn. Heißt dieſelbe c, ferner der Höhenunterſchied des Queckſilberſtandes in CD und EF, während H die Temperatur des ſchmelzenden Schnees hatte, b, und während H den Dämpfen ſiedenden Waſſers ausgeſetzt war, h', ſind endlich b, b' die gleichzeitigen Barometerſtände, ſo iſt das Verhältniß der Expanſivkräfte der Luft in beiden Fällen $= b + h - c : b' + h' - c$. Heißt δ die Volumsdilatation des Glaſes für einen Centeſimalgrad, und iſt τ die Temperatur der Dämpfe des ſiedenden Waſſers, ſo iſt daſſelbe Verhältniß auch

$$= 1 + \delta\tau : 1 + \alpha\tau,$$

woraus $1 + \alpha\tau = \frac{b' + h' - c}{b + h - c}(1 + \delta\tau)$ folgt, mithin α gefunden werden kann.

232. Der Umſtand, daß ſich alle Gasarten bei derſelben Wärmezunahme um gleiche Theile ihres Volums ausdehnen, zeigt, daß ihre Ausdehnſamkeit reine Wirkung der Wärme ſey. Ein Thermometer, deſſen Subſtanz ein Gas iſt, wird dieſem gemäß einen der Wärme ganz entſprechenden Gang haben müſſen. Ein ſolches Thermometer, welches Luftthermometer heißt, erhält man, wenn man die in einem Gefäße von der Form eines Queckſilberthermometers befindliche Luft ſorgfältig trocknet, und dann in die Röhre eine kurze Queckſilberſäule bringt, durch welche eine die Kugel und einen Theil der Röhre ausfüllende Luftmaſſe von der äußeren Atmoſphäre abgeſperrt wird, übrigens aber die Röhre offen läßt. Die Queckſilberſäule gibt den Inder ab. Um den Einfluß der Schwere derſelben auf die Anzeigen des Inſtrumentes zu beſeitigen, muß die Röhre ſtets eine horizontale Lage haben. Die Aenderungen der Länge der Queckſilberſäule durch die Wärme kann man als unmerklich betrachten. Da das Volum der abgeſperrten Luft nicht bloß von der Temperatur derſelben, ſondern auch von dem äußeren Luftdrucke abhängt, ſo muß die Röhre mit einer Volumſcale verſehen, und bei jeder Beobachtung der Barometerſtand mit demjenigen verglichen werden, auf den ſich die Beſtimmung des Eis- und Siedpunctes bezieht. Die Herſtellung der Volumſcale wird ſehr erleichtert, wenn die Röhre wohl calibrirt iſt. Soll das Inſtrument zur Angabe ſehr verſchiedener Temperaturen dienen, ſo muß auch auf die Dilatation des Glaſes geſehen werden. Man kann den Eispunct mit 0 bezeichnen, und zwiſchen ihm und dem Siedpuncte 100 Grade zählen, oder beſſer die Scale ſo einrichten, daß die den einzelnen Temperaturgraden beigeſetzten Zahlen ſich verhalten wie die Expanſivkräfte,

welche der Luft unter conſtanter Dichte bei dieſen Temperaturen zukommen, zu welchem Ende man entweder den Eispunct mit 1000 zu bezeichnen und bis zu dem Siedpuncte 364 Grade zu zählen hat, ſo daß dem letzteren die Zahl 1364 entſpricht, oder auch den Eispunct mit 274 und den Siedpunct mit 374 notiren mag, wobei der Fundamentalabſtand 100 Grade enthält. Im letzteren Falle beruht die Umwandlung der Angaben dieſes Thermometers in jene der gewöhnlichen Centeſimalſcale, und umgekehrt, auf der bloßen Subtraction und Addition der Zahl 274; im erſteren hingegen hat man, wenn L eine Temperaturangabe nach dem Luftthermometer und C die gleichbedeutende nach der gewöhnlichen hunderttheiligen Scale iſt,

$$L = 1000 + 3{,}64\ C \text{ und } C = \frac{L - 1000}{3{,}64}.$$

Der Einfluß des atmoſphäriſchen Druckes auf das Luftthermometer läßt ſich beſeitigen, wenn man die in dem Queckſilbergefäße eines Barometers enthaltene Luft von der äußeren, nachdem man ſie wohl getrocknet hat, durch Zuſchmelzen des Gefäßes abſperrt. Bei dem Gebrauche des Inſtrumentes, deſſen Scale man auf die ſo eben erklärte Weiſe einrichtet, hat man jedoch darauf zu ſehen, daß die Röhre eine verticale Lage habe, auch darf hier die Ausdehnung des Queckſilbers durch die Wärme nicht unbeachtet bleiben; endlich können die Aenderungen des Volums der abgeſperrten Luft bei verſchiedenem Stande des Queckſilbers in der Röhre nur in ſo ferne außer Acht gelaſſen werden, als der Durchmeſſer der Queckſilberfläche im Gefäße jenen der Röhre viele Male übertrifft. Daß Rudberg's in 231 beſchriebener Apparat auch als Luftthermometer verwendet werden kann, fällt in die Augen.

233. Aus dem Vorhergehenden iſt erſichtlich, daß ein Luftthermometer als Regulator für jedes andere Thermometer anzuſehen ſey. Das Queckſilberthermometer ſtimmt mit dieſem innerhalb des Fundamentalabſtandes völlig überein, aber außerhalb dieſes eilt das Queckſilberthermometer dem wahren Gange der Wärme voraus. Bei den Temperaturen, bei welchen das Queckſilberthermometer — 36°, 200°, 300° C. angibt, zeigt ein Luftthermometer nur — 35°,96, 198°,81, 294°,73 (Berzelius Jahresbericht 19. Jahrg. S. 44.)

234. Das vorhin beſchriebene, offene Luftthermometer kann zugleich zur Angabe der Dichte der Luft, mithin als Manometer gebraucht werden. Es hat nämlich die darin eingeſchloſſene atmoſphäriſche Luft einerlei Expanſivkraft mit der äußern; haben nun beide einerlei Temperatur, ſo haben ſie auch einerlei Dichte. Verſieht man daher dieſes Inſtrument mit einer Scale, der das Volum der Luft bei 0° C. und 0,76 Met. Luftdruck als Einheit zum Grunde liegt; ſo gibt jedesmal der Bruch, welcher 1 zum Zähler und das Volum der Luft, wie es das Inſtrument angibt, zum Nenner hat, die geſuchte Dichte der Luft an, in ſofern man die Dichte derſelben bei 0° C. und 0,76 Met. Druck als Einheit betrachtet. Man kann zur Erſparung jeder Rechnung gleich die einzelnen Grade der Scale ſtatt mit der Volumzahl v, mit der Zahl $\frac{1}{v}$ bezeichnen, und dann die Dichte unmittelbar ableſen.

235. Kleine Aenderungen der Expanſivkraft der Luft zeigt Wollaſton's Differenzialbarometer an. Dieſes iſt in Fig. 79 abgebildet, und beſteht aus einem Käſtchen A, das durch eine Scheidewand in zwei Fächer getheilt wird, deren eines offen iſt, und daher mit der äußeren Luft communicirt, das andere aber durch einen Deckel luftdicht geſchloſſen iſt und nur eine offene Seitenröhre hat. In dieſes Käſtchen iſt eine zweiſchenkelige Glasröhre B ſo eingekittet, daß ein Schenkel mit dem offenen, der andere mit dem geſchloſſenen Fache in Verbindung ſteht. Beide Schenkel enthalten eine 2—3 Zoll lange Waſſerſäule und über derſelben eine Oehlſäule, die beiderſeits bis ins Gefäß reicht, und den Boden deſſelben noch $^1/_2$ Z. hoch deckt. Iſt die Waſſerſäule in beiden Schenkeln und folglich auch das Niveau des Oehles in beiden Abtheilungen des Gefäßes gleich hoch, ſo iſt das Inſtrument adjuſtirt. Beim Gebrauche wird die Röhre der geſchloſſenen Abtheilung mit dem Raume in Verbindung gebracht, wo die Aenderung der Expanſivkraft vor ſich gehen ſoll, und die Bewegung der Waſſerſäule beobachtet. Dort, wo die Expanſivkraft kleiner wird, ſteigt die Waſſerſäule, und es verkürzet ſich die Oehlſäule; die Differenz zwiſchen dem Drucke einer Waſſer- und Oehlſäule, deren jede den verticalen Abſtand der Trennungsflächen dieſer Flüſſigkeiten in beiden Schenkeln zur Höhe hat, entſpricht dieſer Abnahme, in ſoferne man nämlich die Aenderung des Niveaus des Oehles in beiden Abtheilungen des Gefäßes, wegen der Größe ſeines Durchmeſſers im Vergleiche mit der Weite der Röhre als unmerklich betrachten darf. Nähme man ſtatt Oehl und Waſſer zwei andere Flüſſigkeiten, deren Dichten einander noch näher ſtänden, ſo würde das Inſtrument noch empfindlicher. (Zeitſchr. 6. 264.)

236. Da der Erfahrung zufolge Gaſe von verſchiedener materiellen Beſchaffenheit bei einerlei Temperatur und unter einerlei äußerem Drucke, d. h. bei einerlei Expanſivkraft, verſchiedene Dichten haben, ſo kommen denſelben, wenn ſie mit Beibehaltung der gemeinſchaftlichen Temperatur auf einerlei Dichte gebracht werden, verſchiedene Expanſivkräfte zu, und zwar zeigt ein Gas eine um ſo größere Expanſivkraft, je geringer ſeine Dichte in Vergleichung mit der eines andern bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke erſcheint. Man ſchreibt daher jedem Gaſe eine beſondere ſpecifiſche Expanſivkraft zu, und ſetzt dieſelbe der Expanſivkraft proportional, welche das Gas bei einer feſtgeſetzten Temperatur und Dichte beſitzt, oder was daſſelbe heißt, man ſieht das verkehrte Verhältniß der Dichten zweier Gaſe bei gleichen Temperaturen und gleichem Drucke als das Verhältniß ihrer ſpecifiſchen Expanſivkräfte an. Demnach iſt die ſpecifiſche Expanſivkraft des Waſſerſtoffgaſes 14mal größer als jene der atmoſphäriſchen Luft. Die abſolute Expanſivkraft iſt die Expanſivkraft eines Gaſes, ohne Beziehung auf eine beſtimmte Dichte und Temperatur.

Nennt man die Dichten zweier Gaſe D, D', ihre Temperaturen nach dem Centeſimalthermometer T, T', nach dem Luftthermometer mit der in 232 erklärten Scala, t, t', die ſpecifiſchen Expanſivkräfte

12*

der Gaſe, nach einer beliebigen Einheit gemeſſen, e, e′, und ihre abſoluten Expanſivkräfte E, E′, ſo hat man offenbar

$$E : E' = D\,(1 + \alpha T)\,e : D'\,(1 + \alpha T')\,e',$$

wobei α den Ausdehnungscoefficienten der Gaſe bezeichnet (231), oder wegen $1 + \alpha T : 1 + \alpha T' = t : t'$, $E : E' = Dte : D't'e'$.

237. Ein vorzügliches Mittel die Abhängigkeit der Expanſivkraft der Luft von ihrer Dichte in das Licht zu ſetzen, iſt die Luftpumpe, ein Inſtrument, welches dazu dient, die Luft in einem gegebenen Raume zu verdünnen oder zu verdichten. Es wurde von Otto Guerike, einem Deutſchen, im Jahre 1650 erfunden, und iſt ſeitdem der Gegenſtand vieler Verbeſſerungsverſuche geweſen. Wir beſchränken uns hier auf die Angabe der einfachſten, zweckmäßigſten und daher auch im allgemeinen Gebrauche befindlichen Formen. Die weſentlichen Beſtandtheile der Luftpumpe ſind: 1) Ein hohler, inwendig ſehr glatter Cylinder A (Fig. 80), von Glas oder Metall (der Stiefel), dem man in der Regel eine verticale Lage gibt, und in deſſen Höhlung 2) ein Kolben oder Stempel B luftdicht paſſet, und mittelſt eines durch eine Kurbel oder einen Hebel hin und her zu drehenden Rades, deſſen Zähne in jene der Kolbenſtange eingreifen, auf und ab bewegt werden kann. Von dem Boden des Stiefels führt eine Röhre als Luftkanal zu einer wohl abgeſchliffenen Platte C, dem Teller, worauf meiſtens eine ſtarke Glasglocke, der Recipient zu ſtehen kommt; doch iſt es manchmal auch nöthig, ein kugelförmiges gläſernes oder metallenes Gefäß an das Ende der Röhre zu ſchrauben. Der Stiefel iſt noch 3) mit einer Vorrichtung verſehen, um nach Bedürfniß eine Communication zwiſchen ihm und dem Recipienten oder der äußeren Luft herzuſtellen oder abzuſperren. Dieſe Vorrichtung iſt in der Regel entweder ein Hahn, mit ſolchen Bohrungen, daß nach Maßgabe ſeiner Stellung jedem dieſer Zwecke entſprochen wird, und den man auch durch einen Schieber mit den erforderlichen Löchern oder Einſchnitten erſetzen kann, oder ſie beſteht in einer Verbindung zweier Ventile, wovon eines jedenfalls am Boden des Stiefels, das andere aber meiſtens im Kolben ſich befindet, welcher in dieſem Falle durchbohrt iſt. Nach der Verſchiedenheit dieſer Herſtellungs- und Hemmungsmittel der Communication zwiſchen den vorgenannten Haupttheilen der Luftpumpe unterſcheidet man zwei Arten derſelben, nämlich: Hahn- und Ventilluftpumpen. In beiden Formen enthält die Luftpumpe entweder einen oder zwei Stiefel, und heißt darnach eine ein- oder zweiſtieflige. Die Leitung der Ventile bedarf keiner beſondern Hülfe von Seite des Operirenden, ſondern wird durch den Gang der Maſchine ſelbſt bewirkt; die Bewegung des Hahnes aber iſt bei manchen Inſtrumenten ganz den Händen des Experimentators überlaſſen. Doch läßt ſie ſich auf eine einfache Weiſe durch den Druck der Kurbel gegen einen mit dem Hahne D verbundenen, etwas beweglichen Anſatz E bewirken.

238. Wir machen hier mit der Betrachtung der Hahnluftpumpen den Anfang. Der Hahn D (Fig. 80) iſt mit zwei Bohrun-

gen verſehen, wovon die eine xy (Fig. 81 a und b) quer durch ſelben geht, die andere aber uwz 90 Grade weit von den Mündungen der erſteren anfängt, bis zur Mitte des Hahnkörpers geht, und dann die Richtung ſeiner Längenaxe annimmt. Gibt man dem Hahne die Stellung a, ſo befindet ſich der Stiefel in Verbindung mit dem Recipienten; erhält der Hahn die Stellung b, ſo iſt der Recipient abgeſchloſſen, und der Stiefel ſteht mit der äußeren Luft in Communication. Man kann mit einer ſolchen Luftpumpe nach Gefallen die Luft in dem auf den Teller gut paſſenden Recipienten verdünnen oder verdichten. Das Verdünnen geſchieht auf folgende Art: Man richtet den Hahn ſo, daß vom Recipienten Luft in den Stiefel gelangen kann, und zieht den Kolben in die Höhe. Hierauf ſtellt man durch Drehen des Hahnes die Communication zwiſchen der äußeren Luft und der inneren im Stiefel her, drückt den Kolben hinab, und wiederholt das ganze Verfahren, ſo oft man will und es der Zweck erfordert. Soll atm. Luft in einem Gefäße verdichtet werden, ſo befeſtigt man letzteres ſtark und luftdicht auf dem Teller, dreht den Hahn ſo, daß Luft von außen in den Stiefel dringen kann, und hebt den Kolben, dreht dann den Hahn, um der Luft im Stiefel den Eintritt in den Recipienten zu verſchaffen, drückt den Kolben hinab, und wiederholt dieſes Verfahren, ſo oft man es für nöthig hält, oder es die Feſtigkeit des Gefäßes erlaubt. Die Einrichtung einer zweiſtiefligen Hahnluftpumpe bedarf keiner beſonderen Erklärung; ſie iſt nichts weiter als die Verbindung zweier einſtiefligen, deren Luftkanäle vor dem Teller ſich vereinigen. Da ein Stempel hinauf geht, während der andere abwärts getrieben wird, ſo geht die Verdünnung oder Verdichtung in einem fort, und die Hälfte der Zeit wird erſpart.

239. Der Hauptnutzen der Luftpumpe für den Phyſiker beruht auf der damit möglichen Verdünnung der Luft. Es iſt dabei unerläßlich, in jedem Augenblicke zu wiſſen, wie weit dieſe gediehen ſey. Dazu dient die Barometerprobe, ein kurzes, meiſtens heberförmiges Barometer (Fig. 82), welches man unter den Recipienten ſetzt, wenn nicht, wie es in der Regel geſchieht, ſchon vom Künſtler die Barometerprobe an der Seite des Tellers als bleibender Beſtandtheil der Luftpumpe angebracht iſt (Fig. 80 F) und damit nach Gefallen in Verbindung geſetzt werden kann, was ſchon aus dem Grunde dringend nöthig iſt, weil nicht jedes Gefäß, aus dem man die Luft zu ziehen beabſichtiget, die Einbringung der Barometerprobe geſtattet. Die Höhe a der in jedem Augenblicke von der Luft im Recipienten getragenen Queckſilberſäule gibt die unter demſelben herrſchende Spannkraft der Luft an; wird nun bei dem äußeren Barometerſtande b experimentirt, ſo iſt $\frac{a}{b}$ die Dichte der Luft im Recipienten, in ſo ferne man nämlich die Dichte der äußeren Luft als die Einheit betrachtet, oder es iſt die Luft im Recipienten $\frac{b}{a}$ mal verdünnt. Doch ſetzt dieſe Angabe voraus, daß man es mit trockener Luft zu thun habe. Zur

Beurtheilung des Antheiles der Dünſte an dem Gange der Verſuche mit einer Luftpumpe wird die Folge verhelfen.

Soll eine Luftpumpe zu feineren phyſikaliſchen Experimenten brauchbar ſeyn, ſo muß ſie bei 28 Zoll Barometerſtand, die Queckſilberſäule wenigſtens auf 1 Linie herabbringen, d. h. ſie muß eine 300malige Verdünnung der Luft geſtatten. Eine heberähnliche Barometervorrichtung kann auch zur Wahrnehmung des Grades der Verdichtung der Luft oder eines andern Gaſes verwendet werden, nur muß der geſchloſſene Schenkel etwas Luft enthalten. Mißt man das Volum derſelben vor und bei dem Verſuche, und reducirt es wegen des ungleichen Queckſilberſtandes in beiden Schenkeln auf die Spannung der Luft im Recipienten, ſo zeigt der Quotient beider Volume die bewirkte Verdichtung an (Vergl. 234).

240. Sowohl dem Verdünnen als dem Verdichten der Luft durch eine Hahnluftpumpe ſetzt der zwiſchen dem Boden des Stiefels und dem Hahne befindliche Raum, zu welchem die atmoſphäriſche Luft Zutritt erhält, ohne bei dem tiefſten Stande des Kolbens daraus vertrieben werden zu können, und den man *ſchädlichen Raum* nennt, eine Grenze. Iſt nämlich die Luft im Recipienten bereits ſo dünn, wie es die im ſchädlichen Raume enthaltene wird, wenn ſie ſich bei dem Aufziehen des Kolbens in den Stiefel ausbreitet, ſo fällt jeder Grund zum Uebertritte irgend eines Lufttheilchens aus dem Recipienten in den Stiefel, mithin die weitere Verdünnung weg. Oder: da der ſchädliche Raum nicht vom Kolben erreicht werden kann, ſo wird die Luft nur ſo weit verdünnt werden können, bis ein Volum derſelben, das den ganzen Stiefel ausfüllt, in den ſchädlichen Raum zuſammengedrückt, eine Dichte hat, welche jener der äußeren Luft gleich kommt, weil in dieſem Falle beim Hineinſtoßen des Kolbens keine Luft aus dem Stiefel mehr getrieben werden kann. Allein es iſt klar, daß ſelbſt dieſe Verdünnung nie vollkommen erreicht wird, ſondern daß man im günſtigſten Falle, nämlich wenn das Inſtrument gut luftdicht ſchließt, ſich ihr nur nach einer unzählbaren Menge von Kolbenzügen ſo weit nähert, daß die Differenz zwiſchen dem vorhandenen Zuſtande der Luft und dieſer Grenze unmerklich iſt. Auch die Verdichtung kann nur beinahe ſo weit gebracht werden, bis die im Stiefel enthaltene Luftmaſſe von der Dichte der äußeren Luft, durch Zuſammendrücken in den ſchädlichen Raum, die Dichte derjenigen erreicht, welche im Recipienten eingeſchloſſen iſt. Nennen wir die Größe des ſchädlichen Raumes s, die Größe des Stiefels ſammt ſchädlichen Raum S, ſo iſt die äußerſte Grenze der Verdünnung der Bruchtheil $\frac{s}{S}$ und die äußerſte Grenze der Verdichtung das $\frac{S}{s}$fache der Dichte der äußeren Luft.

Die Vollkommenheit einer Hahnluftpumpe hängt nebſt ihrem luftdichten Verſchluſſe vornehmlich davon ab, daß der ſchädliche Raum gegen den Stiefel ſehr klein ſey, weßwegen man den Hahn möglichſt nahe an den Stiefel ſetzt und dem Kolben eine ſolche Form gibt, daß er beim Hinabgehen den Raum von ihm bis zum Hahne möglichſt vollſtän-

dig ausfüllt. Da der ſchädliche Raum einer Hahnluftpumpe während des Verdünnens bei jedem Kolbengange mit der äußeren Luft in Verbindung tritt, ſo iſt leicht einzuſehen, daß bei einer doppeltſtiefligen Pumpe, deren Stiefel von ungleicher Wirkſamkeit ſind, der Erfolg nur ſo weit geht, als ihn der minder wirkſame Stiefel zu leiſten vermag. Man kann der Größe des dadurch entſtehenden ſchädlichen Raumes ungeachtet, beiden Stiefeln einen gemeinſchaftlichen Hahn geben, wenn man nur daran nach der von Graßmann erdachten Einrichtung eine ſolche Bohrung anbringt, daß der Stiefel, in welchem der Stempel zu Boden gedrückt iſt (deſſen ſchädlicher Raum alſo mit der äußeren Luft in Verbindung ſteht), ehe er mit dem Recipienten in Communication geſetzt wird, zuerſt durch eine Mittelſtellung des Hahnes mit dem andern, verdünnte Luft enthaltenden, Stiefel in Verbindung tritt, und ſich ſo eines bedeutenden Theils der Luft in ſeinem ſchädlichen Raume entlediget. Zu demſelben Zwecke läßt ſich auch ſtatt des Hahnes ein Schieberventil, das die nöthigen Communicationen darbietet, in Anwendung bringen.

241. Zum Verdichten der Luft bedient man ſich gerne einer ſogenannten Compreſſionspumpe. Sie beſteht aus einem hohlen Cylinder (Fig. 83), der in B mit einem Schraubengewinde verſehen iſt, um ihn an den Recipienten anſchrauben zu können. Ober dieſem hat er ein Ventil, das ſich von innen nach außen öffnet, und nicht weit vom oberen Ende eine Oeffnung C. In die Höhlung des Cylinders paßt der Kolben. Beim Gebrauche befeſtiget man die Pumpe an den Recipienten, erhebt den Kolben bis über die Oeffnung C, drückt ihn bis zum Boden herab, und wiederholt dieſes Verfahren dem Zwecke gemäß. Soll irgend eine andere künſtlich erzeugte Luftart verdichtet werden, ſo braucht man nur an C eine mit dieſer Luft gefüllte Blaſe zu befeſtigen, und dann wie vorhin zu verfahren.

Da das Comprimiren der Luft in Gefäßen, die einem ſtarken Drucke nicht gewachſen ſind, gefährlich werden kann, ſo läßt ſich durch Anordnung des ſchädlichen Raumes (der hier aber ein nützlicher wird) bewirken, daß die Verdichtung der Luft auch von einem Unkundigen nicht über die gehörige Grenze getrieben werden könne.

242. Wo es ſich um raſche, wenn auch nicht ſehr weit getriebene Luftverdünnung handelt, wendet man eine der ſo eben beſchriebenen Vorrichtung ähnliche Handpumpe an. Statt der Seitenöffnung C befindet ſich entweder eine Oeffnung am Boden des Cylinders, und iſt mit einem nach außen ſich öffnenden Ventil geſchloſſen, oder es iſt der Stempel durchbohrt, und trägt ein ſolches Ventil; ein zweites Ventil ſperrt den Eingang zum Recipienten, läßt aber aus dieſem Luft in den Stiefel treten. Wird der Kolben nach außen gezogen, ſo ſchließt der äußere Luftdruck das erſtere Ventil, zugleich öffnet die Luft im Recipienten in Folge ihrer Spannkraft das andere, und ein Theil dieſer Luft geht in den Stiefel; wird der Kolben in den Stiefel zurückgeſchoben, ſo verſchließt ſich letzteres Ventil und das erſtere öffnet ſich, durch welches die Luft aus dem Stiefel entweicht, ſobald ſie nämlich, indem ſie in dem Stiefel zuſammengedrängt wird, eine Spannkraft bekommen hat, welche hinreicht, ſowohl den äußeren atmoſphäriſchen

Druck, als auch den Widerſtand des Ventils zu überwinden. Wenn gleich hier der ſchädliche Raum ſehr klein gemacht werden kann, ſo tritt dafür der Umſtand ein, daß endlich die Luft im Stiefel das zum äußeren Raume führende Ventil, und eben ſo die Luft im Recipienten, das zum Stiefel führende nicht mehr zu öffnen vermag, wodurch der weiteren Verdünnung bald eine Grenze geſetzt iſt.

Zu genaueren Verſuchen dient vornehmlich die Einrichtung, welche Fortin den Ventilluftpumpen gegeben hat (Fig. 84). Der Stempel iſt zweifach durchbohrt; die eine Durchbohrung enthält das beim Niedergange des Kolbens nach außen ſich öffnende Ventil; durch die andere Bohrung geht eine dünne Stange luftdicht, die am unteren Ende einen Stöpſel trägt, der in eine am Boden des Stiefels befindliche, zum Recipienten führende Oeffnung genau paßt, und ſelbe bei dem Niedergange des Kolbens verſchließt. Wird der Kolben gehoben, ſo geht dieſe Stange mit, und die Luft kann aus dem Recipienten in den Stiefel treten. Hiernach ſieht man leicht, wie durch abwechſelndes Spiel des Kolbens die Luft im Recipienten nach und nach dünner wird.

Ventilluftpumpen ſtehen den Hahnluftpumpen in ſo fern nach, als ſie bei der gewöhnlichen Einrichtung ſich nicht zugleich zum Verdünnen und Verdichten der Luft gebrauchen laſſen; da jedoch letztere Operation ſelten vorkommt, und ſich mittelſt der einfachen Compreſſionspumpe leicht vollziehen läßt, ſo iſt dieſer Mangel nicht erheblich. Dagegen beſitzen Ventilluftpumpen eine einfachere Conſtruction, und es fällt die Steuerung des Hahnes weg. Allein die Vortheile der Ventilluftpumpen treten vorzüglich hervor, wenn man ſelbe mit zwei Stiefeln verſieht. Da der ſchädliche Raum, wenn die Verdünnung der Luft ſo weit gediehen iſt, daß das Kolbenventil nicht mehr gehoben wird, von der äußeren Luſt abgeſperrt bleibt, ſo bringt eine ſolche Pumpe immer den Effect hervor, welchem der beſſere Stiefel gewachſen iſt, im Gegenſatze mit dem, was bei Hahnluftpumpen obwaltet. Ferner hilft der auf den einen Stempel bei ſeinem Niedergange wirkende Luftdruck zum Theil die Laſt überwinden, welche aus dem Luftdrucke auf den anderen Stempel bei ſeinem Aufziehen erwächſt.

Eine beſondere Brauchbarkeit haben die Ventilluftpumpen durch eine von Babinet erdachte Verbeſſerung erhalten, welche die Verdünnung auf einen bisher nicht gekannten Grad zu treiben geſtattet. Es wird nämlich, wenn bei der gewöhnlichen Handhabung der zweiſtiefligen Luſtpumpe die Verdünnung der Luft ſo weit gebracht worden iſt, daß das Spiel der Kolbenventile aufhört, durch bloße Aenderung der Stellung eines Hahnes die Communication des einen Stiefels mit dem Recipienten unterbrochen, und dafür eine eigene Verbindung zwiſchen beiden Stiefeln hergeſtellt, ſo daß nun bloß der andere Stiefel aus dem Recipienten Luſt aufnimmt, der erſte Stiefel dagegen aus dem zweiten Luft ſaugt. Dieſer Hahn iſt an dem Einmündungsorte der von den Stiefeln ausgehenden Kanäle in den zum Recipienten führenden Gang angebracht. Die Fig. 85, in welcher zur Erleichterung der Ueberſicht die beiden Stiefel aus der verticalen Lage in die horizontale verſetzt, und die Dimenſionen des Hahnes vergrößert dargeſtellt erſcheinen, wird hierüber Aufſchluß geben. Bei der gewöhnlichen Anordnung der Luſtpumpe ſtehen die beiden Stiefel A, B mit dem Recipienten durch die Canäle x y a und u v b, die Bohrung a b des

Hahnes und den zum Recipienten führenden Weg c d in Verbindung, und die Stiefel ſchöpfen abwechſelnd aus dem Recipienten. Soll aber die Babinet'ſche Anordnung wirkſam werden, ſo wird der Hahn in die Poſition II. verſetzt. Hier iſt der Weg u v w vom Stiefel B zum Recipienten abgeſperrt, dagegen eröffnet ſich die Communication u v f e z zwiſchen beiden Stiefeln, während die Verbindung des Stiefels A mit dem Recipienten durch den Canal x y c b d unterhalten wird. Geht der Stempel in A in die Höhe, ſo tritt aus dem Recipienten Luft in den Stiefel A und die Luft B wird in den ſchädlichen Raum zuſammengepreßt, und kann ſich bei hinreichender Expanſivkraft das Ventil im Stempel öffnen; bei dem Herabgehen des Stempels A wird die Luft aus A in B getrieben. Iſt s der ſchädliche Raum des Stiefels B, S der Inhalt dieſes Stiefels ſammt ſchädlichen Raum, ſo iſt bei der gewöhnlichen Anordnung $\frac{s}{S}$ die Grenze der Luftverdünnung im Recipienten. Bei der Babinet'ſchen iſt ſie, wenn s' den ſchädlichen Raum des Stiefels A (zu welchem ſchädlichen Raume der Canal z e f v u mitgehört), und S' das Volum des Stiefels A ſammt ſchädlichem Raum bezeichnet, die Grenze der Luftverdünnung $= \frac{s\,s'}{S\,S'}$ alſo kleiner als $\frac{s\,s'}{S^2}$. Iſt z. B. der Canal z e f v u der $\frac{1}{100}$ Theil von dem Volum jedes der Stiefel, und gilt der ſchädliche Raum wegen der Laſt des Kolbenventiles für eben ſo groß, ſo geht die Verdünnung wenigſtens bis zum $\frac{1}{10000}$ Theile der Dichte der äußeren Luft. (Ueber Luftpumpen handelt ausführlich Gehler's Wörterbuch neu bearbeitet Bd. 6. Abth. 1.)

243. Unter den vielen Verſuchen, die ſich mit der Luftpumpe anſtellen laſſen, beweiſen folgende die Ausdehnſamkeit und den damit zuſammenhängenden Druck der atmoſphäriſchen Luft, und gehören demnach hieher: 1) Eine ſchlaffe zugebundene Blaſe ſchwillt unter dem Recipienten an, wenn man die Luft verdünnt, und hebt ein bedeutendes Gewicht. 2) Ein ſchwaches, geſchloſſenes, mit Luft gefülltes Gefäß zerſpringt daſelbſt. 3) Das Queckſilber in einem Barometer fällt in verdünnter Luft nach Maßgabe der Verdünnung. 4) Der Recipient haftet nach Verdünnung der Luft feſt auf dem Teller. 5) Metallene hohle Halbkugeln (Magdeburgiſche Halbkugeln, nach Guericke's Wohnort ſo genannt) können nur mit einer bedeutenden Gewalt getrennt werden, wenn man in ihnen die Luft verdünnt. 6) Iſt der Recipient oben durch eine Blaſe geſchloſſen, ſo wird dieſe eingedrückt. 7) Iſt er oben mit einem hölzernen Becher verſehen, der Queckſilber enthält, ſo wird dieſes durch das Holz gedrückt. 8) Ein Gefäß mit einer engen Mündung läßt ſich, wenn dieſe unter Waſſer taucht, unter dem Recipienten damit füllen, indem anfänglich, beim Verdünnen, Luft aus dem Gefäße entweicht, und dann bei dem Zulaſſen der Luft unter den Recipienten Waſſer in das Gefäß getrieben wird.

Mittelſt der Luftpumpe läßt ſich auch ein Beweisgrund des Vorhandenſeyns der Poroſität der Körper darlegen, denn 9) viele Flüſſigkeiten und auch feſte Körper geben in verdünnter Luft eine Menge Luftblaſen von ſich; und eben ſo läßt ſich die Gleichheit der Schwere der Körper zeigen, denn 10) ganz ungleichartige Körper, z. B. eine

zarte Feder, ein Papier- oder Metallſtückchen fallen in verdünnter Luft gleich ſchnell; ein Fallſchirm iſt da wegen der beträchtlichen Verminderung des Widerſtandes der Luft ganz unwirkſam.

B. Schwere, ſpecifiſches Gewicht und Dichte der Gaſe.

244. Daß die atmoſphäriſche Luft wie auch jedes andere Gas ſchwer iſt, läßt ſich auf das augenſcheinlichſte durch einen Verſuch mit der Luftpumpe beweiſen. Wägt man nämlich ein mit was immer für einer Luftart gefülltes Gefäß ab, verdünnt hierauf die Luft in ſelbem, und bringt es wieder an die Wage, ſo findet man es leichter. Dasſelbe Verfahren kann, mit gehöriger Genauigkeit geübt, ſelbſt zur Ausmittelung des ſpecifiſchen Gewichtes der Luftarten angewendet werden. Man nimmt einen Ballon, der wenigſtens 250—300 Kubikzoll faßt, mit einem Hahne luftdicht verſchloſſen und an eine gute Luftpumpe angeſchraubt werden kann. Nachdem man in demſelben die Luft ſo ſtark als möglich verdünnt hat, ſchließt man den Hahn, bringt den Ballon an eine empfindliche Wage, bemerkt ſein Gewicht $= P$, öffnet hierauf den Hahn und beſtimmt ſein Gewicht $= P'$ von Neuem. Setzt man voraus, daß durch die Luftpumpe ein ganz luftleerer Raum erzeugt wurde; ſo iſt $P' - P$ das Gewicht der im Ballon enthaltenen Luft. Kennt man nun das Volum V des Ballons; ſo iſt $\frac{P' - P}{V}$ das ſpecifiſche Gewicht der atm. Luft. Auf dieſe Weiſe überzeugte man ſich, daß ein Kubikfuß atm. Luft bei 0° C. und einem Luftdrucke von 760 Millimeter 564 Gran W. G., mithin ein Kubikzoll 0,326 Gr. wiege. Es iſt daher die atm. Luft bei 0° C. und 760 M. M. Druck nahe 770mal (genauer 769,44mal) leichter als Waſſer. Läßt man in den Ballen ſo, wie er nach Verdünnung der Luft an der Wage hängt und das Gewicht P hat, ſtatt atm. Luft, irgend eine andere Luftart eindringen, und findet jetzt deſſen Gewicht $= Q$; ſo iſt $\frac{Q - P}{V}$ das ſpecifiſche Gewicht des Gaſes, welches ſich im Ballon befindet. Handelt es ſich bloß um Vergleichung der Dichte d eines Gaſes mit jener der atmoſphäriſchen Luft unter gleichen Umſtänden, in welchem Falle man der Einfachheit wegen die Dichte der atm. Luft als Einheit annimmt, ſo iſt man der ſchwierigen Volumsbeſtimmung des Ballons überhoben, denn das Verhältniß der Gewichte $P' - P$ und $Q - P$ der Luft und des Gaſes iſt auch jenes ihrer Dichten, ſo daß man hat $d : 1 = Q - P : P' - P$, mithin

$$d = \frac{Q - P}{P' - P}.$$

Alle dieſe Verſuche ſetzen voraus, daß die Luftarten ganz rein ſeyen, daß ihre Dichte und die Capacität des Ballons, ſo wie ſein Gewicht in der Luft, unverändert bleiben, und daß mittelſt der Luftpumpe ein völlig luftleerer Raum erzeugt werden könne, lauter Dinge, die in der Wirklichkeit nicht Statt finden; denn die Luftarten enthalten immer eine größere oder geringere Menge von Waſſerdünſten, die auf ihr ſpecifiſches Gewicht einen nicht unbedeutenden Einfluß haben, dieſes ändert ſich mit dem Drucke der äußeren Luft und mit ihrer Tempera-

tur, letztere hat ſogar auf die Capacität des Gefäßes und auf ſein Gewicht in der Luft einen Einfluß, der zwar ſehr gering iſt, und daher manchmal überſehen werden kann, bei ſehr genauen Verſuchen aber doch in Anſchlag gebracht werden muß. Aus dieſen Gründen wählt man zu Verſuchen dieſer Art nur ſolche Luft, die vorher gut ausgetrocknet wurde, und arbeitet nur bei einer beſtimmten Temperatur und bei einem beſtimmten Luftdrucke, oder reducirt die unter anderen Umſtänden erhaltenen Reſultate auf die Normaltemperatur und auf den Normaldruck. Letzteres läßt ſich nach den oben bewieſenen Geſetzen leicht bewerkſtelligen. Iſt nämlich S das ſpecifiſche Gewicht, welches man bei der Temperatur T und unter dem Luftdrucke B gefunden hat, s das auf den normalen Stand des Thermometers und Barometers 0° C. und b reducirte, ſo hat man nach 231, weil ſich die Expanſivkräfte der Luft wie die Barometerſtände, und die Dichten der Körper überhaupt wie die ſpecifiſchen Gewichte verhalten:

$$B : b = S (1 + \alpha T) : s \text{ mithin } s = \frac{S (1 + \alpha T) b}{B}$$

245. Man kann die Dichte eines Gaſes auch unmittelbar aus ſeiner chemiſchen Zuſammenſetzung berechnen, wenn die Dichten der Beſtandtheile und das Verhältniß, in welchem ſie ſich zu dem gegebenen Gaſe verbinden, ſo wie die etwa bei der Verbindung eintretende Volumveränderung gegeben ſind. Geſetzt es beſtehe ein Gas aus a Raumtheilen eines Stoffes, deſſen Dichte d iſt, und aus a′ Raumtheilen eines ſolchen, deſſen Dichte d′ heißt, mithin im Ganzen aus a + a′ Raumtheilen. Da iſt nun ad die Maſſe des einen, a′d′ die Maſſe des anderen Beſtandtheiles, ad + a′d′ die Maſſe des Ganzen und $\frac{ad + a'd'}{a + a'}$ die Maſſe des letzteren unter dem Volum = 1, alſo die Dichte des zuſammengeſetzten Gaſes, falls bei der Verbindung der beiden Beſtandtheile keine Ausdehnung oder Zuſammenziehung erfolgt iſt. Findet aber das eine oder das andere Statt, ſo ändert ſich dadurch dieſe Dichte des Gaſes. Geſetzt es ſey bei der chemiſchen Verbindung der Beſtandtheile das Volum a + a′ in A übergegangen, ſo iſt, wenn man die Dichte des Gaſes mit D bezeichnet:

$$D = \frac{ad + a'd'}{A}.$$

Folgende Beiſpiele mögen zur Erläuterung des Gebrauches dieſer Formel dienen: 2 Volume Stickſtoffoxydgas (Salpetergas) enthalten 1 Volum Stickgas und 1 Vol. Sauerſtoffgas von gleicher Temperatur und Spannung. Die Dichte des Stickgaſes iſt 0,976; die Dichte des Sauerſtoffgaſes 1,1026, wenn die Dichte der atmoſphäriſchen Luft als Einheit angenommen wird. Es iſt alſo hier

$$a = 1,\ d = 0{,}976,$$
$$a' = 1,\ d' = 1{,}1026 \text{ und } A = 2;$$

mithin die Dichte des Stickſtoffoxydgaſes

$$D = \frac{ad + a'd'}{A} = 2{,}0786 : 2 = 1{,}0393.$$

2 Volume Stickſtoffoxydulgas beſtehen aus 2 Vol. Stickgas und 1 Vol. Sauerſtoffgas. In dieſem Falle iſt

$$a = 2,\ d = 0{,}976,$$
$$a' = 1,\ d' = 1{,}1026 \text{ und } A = 2;$$

mithin die Dichte des Stickſtoffoxydulgaſes

$$D = 3{,}0546 : 2 = 1{,}5273.$$

2 Vol. Ammoniakgas werden durch Vereinigung von 3 Vol. Waſſerſtoffgas (deſſen Dichte 0,0688 iſt) und 1 Vol. Stickgas gebildet. Setzt man

$$a = 3,\ d = 0{,}0688,$$
$$a' = 1,\ d' = 0{,}976;$$

ſo folgt hieraus, wegen $A = 2$, die Dichte des Ammoniakgaſes

$$D = 1{,}1824 : 2 = 0{,}5912.$$

Alle dieſe Reſultate ſtimmen mit den durch directe Wägungen gefundenen gut überein.

246. Da die hier betrachteten Dichten der Gaſe ſich auf einen gleichen Luftdruck und auf gleiche Temperaturen beziehen, ſo ſtehen ſie im verkehrten Verhältniſſe der ſpecifiſchen Expanſivkräfte (236), und man kann letztere leicht aus erſteren finden, wenn man die ſpecifiſche Expanſivkraft irgend eines Gaſes zur Einheit wählt. In der Regel ſetzt man die ſpecifiſche Expanſivkraft der atmoſphäriſchen Luft = 1. Da nun auch die Dichte derſelben = 1 iſt, ſo hat man, wenn e und d die ſpecifiſche Expanſivkraft und Dichte eines anderen Gaſes vorſtellen,

$$e : 1 = 1 : d;\quad \text{mithin } e = \frac{1}{d}.$$

Sind daher E, E′ die Expanſivkräfte, welche zwei Gaſe bei den Dichten D, D′ und den nach dem Luftthermometer gemeſſenen Temperaturen t, t′ zeigen, ferner d, d′ ihre Dichten bei irgend einer für beide Gaſe gleichen Spannkraft und Temperatur, ſo folgt aus 236:

$$E : E' = \frac{Dt}{d} : \frac{D't'}{d'} \quad \text{oder auch} \quad D : D' = \frac{Ed}{t} : \frac{E'd'}{t'}.$$

In dem beſonderen Falle, wenn beide Gaſe einerlei Temperatur beſitzen, alſo $t = t'$ iſt, gilt demnach die Proportion

$$D : D' = Ed : E'd'.$$

Folgende Tabelle gibt die Werthe von d und e für einige Gaſe, wobei jedoch in Betreff der Dichten der Gaſe den Reſultaten einer auf verläßliche Principien gegründeten Rechnung vor den Ergebniſſen directer Wägungen, bei welchen die Vermeidung beträchtlicher Fehler in vielen Fällen äußerſt ſchwierig iſt, der Vorzug eingeräumt wurde. Die Dichten der leichter condenſirbaren Gaſe, als des ſchwefligſauren, des Cyangaſes ꝛc. ſtehen zu jener der atm. Luft bei ſtärkerem Drucke in einem anderen Verhältniſſe, und zwar erſcheinen die Dichten dieſer Gaſe größer, als ſelbe in der Tabelle angegeben werden, weil die Molekel, wenn ſich die Gaſe dem Condenſationspuncte nähern, mehr an einander rücken, als es nach dem Mariotte'ſchen Geſetze ſeyn ſollte. (Vergl. 229.)

Gaſe.	Dichte.	Specifiſche Expanſivkraft.
Atmoſphäriſche Luft	1,0000	1,0000
Sauerſtoffgas	1,1026	0,9069
Stickgas	0,9760	1,0246
Waſſerſtoffgas	0,0688	14,535
Chlorgas	2,440	0,4098
Stickſtoffoxydulgas	1,5273	0,6547
Stickſtoffoxydgas	1,0393	0,9622
Ammoniakgas	0,5912	1,6915
Cyangas	1,8188	0,5498
Grubengas	0,559	1,7889
Oehlbildendes Gas	0,9804	1,0200
Kohlenoxydgas	0,9727	1,0281
Chlorkohlenoxydgas	3,4127	0,2930
Schwefligſaures Gas	2,2116	0,4522
Kohlenſäuregas	1,5240	0,6562
Salzſäuregas	1,2544	0,7972
Schwefelwaſſerſtoffſäuregas	1,1778	0,8490

C. Gleichgewicht der Gaſe.

247. Alle jene Geſetze des Gleichgewichtes, welche für Flüſſigkeiten überhaupt aufgeſtellt wurden (177 u. f.), ſind natürlich unbeſchränkt auf Gaſe anwendbar, weil dieſe auch zu den Flüſſigkeiten gehören; von denjenigen Geſetzen hingegen, die für tropfbare Flüſſigkeiten erwieſen wurden, laſſen ſich nur jene auf Gaſe beziehen, die auf der Verſchiebbarkeit der Theile und auf der Schwere beruhen, von der Ausdehnſamkeit aber unabhängig ſind.

248. Man denke ſich die atmoſphäriſche Luft oder ein anderes Gas im freien Raume, und unterſuche, auf Grundlage der Eigenſchaften eines ausdehnſamen Körpers, die Bedingungen ſeines Gleichgewichtes, und zwar zuerſt für die oberſten Theile der Luftmaſſe. Jedes dieſer Theilchen ſucht vermöge ſeiner Schwere zu ſinken und vermöge ſeiner Ausdehnſamkeit ſich nach allen Seiten auszudehnen. Dem Beſtreben, ſich ſeitwärts und nach abwärts auszudehnen und zu ſinken, muß der Widerſtand der daneben und unterhalb befindlichen Theile, dem Beſtreben ſich aufwärts auszudehnen, die Schwere das Gleichgewicht halten. Letzteres kann in der Nähe der Erdoberfläche, wo die Ausdehnſamkeit der Gaſe ihre Schwere weit übertrifft, nicht wohl Statt haben, darum laſſen ſich auch Gaſe nicht wie tropfbare Flüſſigkeiten, in offenen Gefäßen aufbewahren; nur in dem großen Gasmeere, unſerer Atmoſphäre, iſt eine freie Oberfläche mit dem Gleichgewichte verträglich, weil an ihrer äußerſten Grenze die Ausdehnſamkeit der Luft ſehr gering iſt und darum mit der Schwere im Gleichgewichte ſtehen kann. Auf dieſer freien Oberfläche müſſen (180) die Richtungen der Schwere ſenkrecht ſtehen, und dieſe nahe die Geſtalt einer Kugel haben. Daher ſagt man, die atm. Luft hülle die Erde wie eine kugelförmige Schale ein. Die Theilchen, welche ſich im Inneren eines

Gaſes befinden, werden nicht bloß durch ihre Schwere, ſondern auch durch das Gewicht der darüber befindlichen Gasſäule abwärts und nach allen Seiten gedrückt, und müſſen durch ihre Ausdehnſamkeit und den Widerſtand der benachbarten Theile dieſem Drucke widerſtehen. Hieraus erhellet nicht nur warum die atmoſphäriſche Luft, wie wir ſelbe in ihrem natürlichen Zuſtande um uns antreffen, ſich in einem beſtimmten Grade der Zuſammendrückung befindet, und dem gemäß eine beſtimmte Spannkraft äußert, ſondern auch daß das Vorhandenſeyn dieſer Spannkraft mit Recht als ein Beweisgrund für die Schwere der darüber liegenden Luft angeſehen wird. In dieſem Sinne kann man alſo ſagen, der Torricelliſche Verſuch (223) beweiſe die Schwere der Luft. Diejenigen Lufttheile, welche von dem Erdmittelpuncte gleich weit entfernt ſind, werden, in ſo fern man die Luft in dem Gleichgewichtszuſtande befindlich denkt, mit gleichen Kräften abwärts gedrückt, und müſſen demnach auch gleiche Expanſivkräfte beſitzen; an allen Orten, die eine gleiche Entfernung vom Erdmittelpuncte haben, muß dem zu Folge die Barometerhöhe gleich groß ſeyn. Für nicht weit von einander entfernte Orte findet dieſes wirklich Statt; bei größeren Entfernungen verurſachen aber die beſtändigen Strömungen, welche in der Luft Statt finden, nicht unbedeutende Störungen, doch ſtimmen auch hier die, aus vielen Beobachtungen genommenen, mittleren Barometerhöhen mit einander überein. Der auf ein Gastheilchen nach abwärts wirkende Druck iſt offenbar deſto größer, je tiefer dieſes Theilchen unter der Oberfläche der Gasmaſſe liegt; darum muß auch die Ausdehnſamkeit, und bei einerlei Temperatur, auch die Dichte derſelben von oben nach unten zu-, und daher in entgegengeſetzter Richtung abnehmen. Dieſe Abnahme der Dichte und des Druckes der Luft nach oben hin iſt in der Atmoſphäre ſehr merklich. Bringt man eine wohl verſchloſſene, Luft enthaltende, aber ſchlaffe Blaſe vom Fuße eines nur mäßig hohen Berges auf den Gipfel desſelben; ſo findet man, daß ſie anſchwillt. Auch das Barometer zeigt einen niedrigern Queckſilberſtand, wenn man es von einem niedriger gelegenen Orte in einen höher gelegenen überträgt.

Nehmen wir an der Erdfläche den Luftdruck = 12¾ W. Pfd. auf den Quadratzoll und die Oberfläche eines erwachſenen Menſchen = 15 Q. Fuß an, ſo ergibt ſich ein Totaldruck auf dieſelbe von 27540 Pfd. Der Druck, welchen die atmoſphäriſche Luft auf die ganze Erde ausübt, oder das abſolute Gewicht der ganzen Atmoſphäre beläuft ſich nahe auf 100000 Billionen Zentner W. G. Dieſen Druck empfinden wir nicht, weil er von allen Seiten, ſelbſt von innen heraus wirkt, und wir unſeren Zuſtand nicht mit dem, wo dieſer Druck fehlt, vergleichen können; ſelbſt kleine Veränderungen dieſes Druckes, wie ſie oft in der Atmoſphäre Statt finden, treten für den geſunden Menſchen unbemerkt ein, und geben ſich nur bei ſehr empfindſamen Individuen durch ein Uebelbefinden zu erkennen. Größere Veränderungen, wie ſie bei denen eintreten, die von hoch liegenden Gegenden, wo der Luftdruck viel geringer iſt, in tiefer liegende kommen, oder umgekehrt, verurſachen ſelbſt bei geſunden und kräftigen Individuen ein Uebelbefinden, Mattigkeit und Beklemmung. In der Höhe von etwa 5 Meilen

über der Erdoberfläche iſt die Luft ſo ſehr verdünnt, wie wir dieſes in unſeren Laboratorien mit der beſten Luftpumpe kaum bewerkſtelligen können; ſelbſt auf hohen Bergen hat ſie ſchon eine für die Lebensfunctionen des Menſchen zu geringe Dichte. Kommt man in die Höhe von 1500 W. Kl. und darüber, ſo ſtellet ſich eine ungewöhnliche Müdigkeit ein, man muß faſt alle hundert Schritte einige Minuten ausruhen; dazu geſellt ſich ein läſtiges Ohrenſtechen, man nimmt wahr, daß aus den Ohren von Zeit zu Zeit Luftbläschen entweichen, man hört kaum 10 Schritte weit, das Athmen wird beſchwerlich, der Puls ſchlägt ſchnell, oft tritt ſogar Neigung zum Erbrechen ein, ſelbſt Wunden heilen langſamer und Arzeneimittel wirken ſchwächer.

Das Fallen des Queckſilbers im Barometer, wenn man damit an höher liegende Orte geht, hat zuerſt Paſcal vermuthet, und es wurde die Richtigkeit dieſer Vermuthung durch die im J. 1648 auf dem Puy-de-Dome in Frankreich angeſtellten Beobachtungen beſtätiget. Man kann ſich die Torricelliſche Röhre als einen Schenkel eines Communicationsgefäßes vorſtellen, deſſen anderer Schenkel mit atm. Luft gefüllt iſt, und das Gleichgewicht beider Flüſſigkeiten nach 189 beurtheilen. Die atm. Luft iſt bei 0° C. und 760 M. M. Barometerſtand nach Biot und Arago's ſehr genauen Verſuchen 10467 dünner als das Queckſilber. Damit alſo unter dieſen Umſtänden der Barometerſtand ſich um 1 Linie niedriger zeige, muß man das Inſtrument um 10467 Linien oder um 72,7 Fuß höher bringen, in ſo fern es nämlich erlaubt iſt, hier von der Aenderung der Dichte der Luft innerhalb dieſer Höhe zu abſtrahiren. Auf der Spitze des Montblanc ſah Sauſſure einen Barometerſtand von nur 16,108 P. Z.; am Ararat zeigte Parrot's Barometer 16,06 P. Z.

249. Die nach oben zu immer abnehmende Dichte der Luft verurſacht, daß der Druck einer Luftſäule nicht, wie bei tropfbaren Körpern, im einfachen verkehrten Verhältniſſe mit der Entfernung von einer beſtimmten Horizontalebene abnimmt, ſondern daß dieſe Abnahme in einer geometriſchen Progreſſion geſchieht, während die Entfernungen von dieſer Ebene eine arithmetiſche Reihe bilden. Es ſey eine zwiſchen den verticalen Ax und By (Fig. 86) befindliche Luftſäule durch die Horizontalebenen AB, CD, EF, GH, IK ꝛc. in gleiche Schichten getheilt, die eine ſo geringe Höhe haben, daß man die Dichte in jeder einzelnen Schichte für gleichförmig halten kann. Es habe dieſe Luft in irgend einer Schichte die Dichte d_n, das Gewicht p_n, und erleide von der darüber befindlichen Luftſäule den Druck P_n, wo n eine Zahl iſt, welche die Schichte angibt, für welche dieſe Größen gelten, ſo daß d_1, d_1 ... p_1, p_2 ... P_1, P_2 ... ſich auf die erſte, zweite ꝛc. Schichte beziehen. Der Druck auf die Baſis AB wird demnach durch P_0 ausgedrückt. Da iſt nun, in ſo fern man die Intenſität der Schwere als unverändert annehmen, alſo die Gewichte der Maſſen proportional ſetzen darf, $d_1 : d_n = p_1 : p_n$, und in ſo ferne das Mariotte'ſche Geſetz zuläßig erſcheint, $d_1 : d_n = P_1 : P_n$, mithin auch $p_1 : p_n = P_1 : P_n$, woraus man erhält

$$P_1 + p_1 : P_1 = P_n + p_n : P_n.$$ Es iſt aber

$$P_1 + p_1 = P_0, \quad P_n + p_n = P_{n-1},$$ mithin auch

$$P_0 : P_1 = P_{n-1} : P_n, \text{ und daher } P_n = \frac{P_1}{P_0} \cdot P_{n-1}.$$

Setzt man für n ſucceſſive 1, 2, 3 ꝛc., und nennt der Kürze halber $\frac{P_1}{P_0} = Q$, ſo erhält man die Werthe $P_1 = Q \cdot P_0$, $P_2 = Q \cdot P_1 = Q^2 \cdot P_0$, $P_3 = Q \cdot P_2 = Q^3 \cdot P_0$ u. ſ. f. Es ſind alſo P_0, P_1, P_2, P_3 ꝛc. Glieder einer geometriſchen Reihe, während die Höhen o, AC, AE, AG ꝛc. zu einer arithmetiſchen gehören. Dieſes Geſetz wird demnach in der Wirklichkeit nur dann Statt haben, wenn die Wärme aller Luftſchichten dieſelbe iſt, die Variation der Schwere vernachläßiget werden darf, und das Mariotte'ſche Geſetz für jeden hier vorkommenden Grad der Luftdichte giltig iſt. So wie es ſich mit einem dieſer Puncte anders verhält, muß auch das genannte Geſetz anders ausfallen.

Da hier, wenn m, n die Stellenzeiger zweier verſchiedenen Luftſchichten ſind, $P_m = Q^m P_0$ und $P_n = Q^n P_0$ iſt, ſo hat man $\frac{P_n}{P_m} = Q^{n-m}$ und wenn man beiderſeits die Logarithmen nimmt,

$$\log. P_n - \log. P_m = (n - m) \log. Q \text{ folglich}$$

$n - m = \frac{1}{\log. Q} (\log. P_n - \log. P_m)$. Bezeichnen wir die Höhe einer einzelnen Schichte durch h, ſo iſt $nh - mh$ der Höhenunterſchied beider hier betrachteten Schichten; nennen wir dieſen H, ſo haben wir, wenn wir die ſo eben erhaltene Gleichung mit h multipliciren

$$H = \frac{h}{\log Q} (\log. P_n - \log. P_m).$$

Statt P_m und P_n kann man hier die an den entſprechenden Orten obwaltenden Barometerſtände ſetzen, welche durch B und b angedeutet werden mögen, und da Q ein ächter Bruch, mithin log. Q negativ iſt, ſo ſey $-\frac{h}{\log. Q} = C$. Hierdurch erhält man die Formel

$$H = C (\log B - \log. b).$$

Da das Queckſilber bei 0° C und 760 M. M. oder 336,9 Par. Lin. Barometerſtand 10467mal dichter iſt als die atm. Luft, ſo wird, wenn man das Barometer um 0,10467 Fuß höher ſtellt, der Queckſilberſtand um 0,00001 Fuß oder 0,00144 Lin. abnehmen. Setzt man daher $P_0 = 336,9$ Par. Lin. und $h = 0,10467$ Fuß,

$$\text{ſo wird } P_1 = 336,9 - 0,00144 \text{ Lin.} = 336,89856 \text{ Lin.}$$

$$\text{mithin } C = \frac{0,10467}{\log. 336,9 - \log. 336,89856}.$$

Es iſt aber log. 336,9 = 2,5275010110
und log. 336,89856 = 2,5274991547
Differenz = 0,0000018563

folglich C = 56386.

Die für H erhaltene Formel wird dem Höhenmeſſen mit dem Barometer zum Grunde gelegt. Bei dem hier gefundenen Werthe von C gibt ſie die Höhe in Pariſer Fußen, wenn die Barometerbeobachtungen an den äußerſten Puncten in beliebigem Maße ausgedrückt worden ſind. Will man die Höhenangabe in Wiener Fußen, ſo iſt C = 57945 zu ſetzen. Doch ſetzt dieſe Formel voraus, daß die ganze Luftſäule die Temperatur 0° C. habe. Legt man der Luftſäule eine andere Temperatur τ bei, ſo muß man die Größe C mit $1 + \alpha\tau$ multipliciren, wobei α der Ausdehnungscoefficient der Luft für die Temperaturänderung 1° C. iſt. Denn durch Erwärmung wächſt die Spannkraft der Luft,

ſie wird daher, um ſich mit der Umgebung wieder ins Gleichgewicht zu ſetzen, in demſelben Verhältniſſe dünner, mithin die Luftſäule, die man, um denſelben Unterſchied der Barometerſtände zu erhalten, durchwandern muß, in gleichem Verhältniſſe höher. In der Erfahrung findet zwar keine gleichförmige Erwärmung der Luft in verticaler Richtung Statt, doch kann man die Sache betrachten, als ob die Temperatur nach oben hin in einer arithmetiſchen Reihe abnähme, wenn die Höhen in einer ſolchen wachſen, mithin für τ das arithmetiſche Mittel zwiſchen den Temperaturen an der untern und obern Beobachtungsſtation ſetzen. Man erhält auf dieſe Weiſe befriedigende Reſultate, welche noch verbeſſert werden, wenn man auch noch auf den Feuchtigkeitszuſtand der Luft, auf die Abnahme der Schwere in verticaler Richtung und auf deren Aenderung wegen der geographiſchen Breite des Beobachtungsortes Rückſicht nimmt. Im Folgenden vorzutragende Lehren bieten hiezu die Hilfsmittel dar.

250. Die Geſetze des Gleichgewichtes ausdehnſamer und in dieſelben getauchter, feſter oder tropfbarer Körper ſtimmen mit jenen genau überein, welche zwiſchen tropfbaren und darin befindlichen feſten Maſſen aufgeſtellt worden ſind. Es verliert ein Körper in einem Gaſe ſo viel von ſeinem Gewichte, als die verdrängte Gasmaſſe wiegt. Dieſes hat auf die Gewichtsbeſtimmung der Körper Einfluß. Man findet nämlich beim Abwägen eines Körpers in der Luft nur dann ſein abſolutes Gewicht richtig, wenn er mit dem Gegengewichte von gleicher Dichte iſt. Hat er eine größere oder kleinere Dichte, ſo findet man jenes Gewicht um ſo viel zu groß oder zu klein, als das Gewicht der Luft unter einem Volum beträgt, welches dem Unterſchiede der Rauminhalte des abzuwägenden Körpers und des angewendeten Gewichtes gleich iſt. In den meiſten Fällen braucht man deßwegen keine Correction anzubringen; findet man ſie nöthig, ſo iſt aus dem Vorhergehenden leicht erſichtlich, auf welche Weiſe ſie zu machen ſey. — Auf demſelben Geſetze beruht auch das Wagemanometer, ein Inſtrument, welches die Zu- und Abnahme der Dichte der Luft anzeigt, und eigentlich aus einer Wage beſteht, an der ein Gewicht von ſehr dichtem Materiale mit einer hohlen, luftleeren Kugel bei der mittleren Dichte der Luft im Gleichgewichte ſteht. Sobald die Luft dünner wird, muß die Kugel ſinken, weil ihr Gewichtsverluſt minder bedeutend wird, als der ihres Gegengewichtes; ſobald die Luft dichter wird, muß die Kugel ſteigen. Es iſt leicht eine Einrichtung denkbar, wodurch man in den Stand geſetzt wird, aus dem Stande des Manometers auf das ſpecifiſche Gewicht der Luft ſchließen zu können. Otto Guerike hat dieſes Inſtrument erfunden, Fouchy und Gerſtner haben es bedeutend verbeſſert. (Gerſtner's Luftwage in den Beobachtungen auf Reiſen nach dem Rieſengebirge. Dresden 1791. Gerſtner's Mechanik. Bd. 3.) Eine nothwendige Folge deſſelben Geſetzes iſt auch, daß jeder Körper, der weniger wiegt, als ein gleiches Volum Luft, in dieſer aufſteigen muß. Hierauf gründet ſich das Steigen der Luftballone, die mit erwärmter atm. Luft gefüllt ſind, oder mit Waſſerſtoffgas, kurz mit einer Gasart, welche bei einer geringeren Dichte, als jene der atmoſphäriſchen Luft iſt, der Spannkraft derſel-

ben das Gleichgewicht zu halten vermag, vorausgeſetzt daß ſelbſt mit der Belaſtung der Ballon weniger Gewicht hat, als die von dieſem verdrängte Luft. Solche Ballone verhalten ſich gegen die Luft, wie z. B. Korkholz gegen Waſſer, nur mit dem Unterſchiede, daß ſie nicht bis zum Ende der Atmoſphäre ſteigen können, weil ſie in immer dünnere Luftſchichten kommen, ſo daß ſie nothwendig einmal eine erreichen, deren ſpecifiſches Gewicht dem des Ballons gleich kommt.

Der Luftballon wurde im Jahre 1783 zu Annonay von den Brüdern Mongolfier erfunden. Sie ließen am 5. Juli deſſelben Jahres einen Ballon von Leinwand und Papier, der 110 Fuß im Umfange hatte, ſteigen, indem ſie ihn durch erwärmte Luft auftrieben. Er ſtieg auf eine Höhe von 6000 Fuß. Bald darauf ſendeten die Herren Robert und Charles zu Paris eine ähnliche, mit Waſſerſtoffgas gefüllte, taffetene Kugel gegen Himmel. Pilatre de Rozier und Marquis d'Arlande haben ſich zuerſt dieſem gefährlichen Fahrzeuge anvertraut, unter einem ſolchen Enthuſiasmus der Pariſer, daß es kaum begreiflich wird, wie noch eine Zeit kommen konnte, wo das Steigen eines Luftballons faſt nicht mehr Aufſehen macht, als das Fallen einer Sternſchnuppe. — Heut zu Tage verfertiget man die Luftballone aus Taffet, der zuerſt gehörig zugeſchnitten, dann mit einem Firniß aus Leinöhl, Vogelleim und Terpentinöhl überſtrichen wird. Die Stücke werden zuſammengenäht, und die Nähte mit demſelben Firniß überzogen. Der kleinſte kugelförmige Taffetballon muß 3 Fuß 4 Linien im Durchmeſſer haben, einer aus Goldſchlägerhäutchen ſteigt ſchon, wenn er ſechs Zoll im Durchmeſſer hat. Garnerin's Luftballon hatte 80 Fuß im größten, 25 F. im kleinſten Durchmeſſer, und faßte daher 10,400 K. F., trieb mithin unten 950 Pfund Luft aus ihrer Stelle. Er faßte aber etwa 160 Pfund Hydrogengas und mochte an Zeug 270 Pfund wiegen; es blieb ihm alſo eine Steigkraft von 520 Pfund. Neuerlich hat der durch ſeine zahlreichen und kühnen Fahrten ausgezeichnete engliſche Luftſchiffer Green mit bedeutendem Vortheile das bei der Deſtillation der Steinkohle ſich entwickelnde (auch als Beleuchtungsmaterial dienende) Gas ſtatt des Waſſerſtoffgaſes zur Füllung der Luftballone angewendet. Die ungeheuren Gasvorräthe der Beleuchtungsanſtalten Londons geſtatten eine ſehr raſche Füllung ſeines Rieſenballons.

Siehe hierüber: Geſchichte der Aëroſtatik. Straßburg 1784. Anhang zur Geſchichte der Aëroſtatik. Straßburg 1786. Zachariä, Elemente der Luftſchwimmkunſt. Wittenberg 1807. Theorie der Aëronautik von C. Laczynsky. Mohrungen 1833.

251. Zwei Gaſe, welche durch eine bewegliche aber undurchdringliche Scheidewand, z. B. durch eine Waſſer-, Oehl- oder Queckſilberſäule getrennt ſind, ſtehen im Gleichgewichte, wenn ſie mit gleichen und entgegengeſetzten Kräften unmittelbar auf die Scheidewand, und daher mittelbar auf einander ſelbſt wirken. Es muß demnach jede Veränderung in der Ausdehnſamkeit des einen Gaſes eine ähnliche im anderen hervorbringen. Aus dem hier erwähnten Geſetze erklären ſich: Die Wirkung der Taucherglocke, des Stechhebers, des gekrümmten Hebers, der Mariotte'ſchen Flaſche, der Sicherheitsröhren, Gaſometer, Blasbälge, des Heronsballes, des Heronsbrunnens, des Lichterbrunnens, der Saug- und Druckpumpen, der Feuerſpritzen, der Windbüchſe; das Saugen, Trinken, Tabakrauchen,

und eine ungemeine Menge phyſikaliſcher Spielwerkzeuge, z. B. das magiſche Tintenfaß, der magiſche Trichter, der Oehlkrug der Witwe, das Sieb der Veſtalin, der Zauberbrunnen, der Vexierbecher (Diabetes der Alten), die ſchwimmende Fontaine, der Storch und die Schlange u. dgl. m.

Die Taucherglocke beſteht aus einem großen luftdichten, auf einer Seite offenen, einer umgeſtürzten Tonne ähnlichen Gefäße, welches mit der Oeffnung auf das Waſſer geſetzt und ſo verſenkt wird. Die darin befindliche Luft hält durch ihre Expanſivkraft dem äußeren Luftdrucke und der über der Glocke ſtehenden Waſſerſäule das Gleichgewicht, hindert alſo das Eindringen des Waſſers bis zur völligen Ausfüllung der Glocke und ſichert ſo das Athemholen der darin befindlichen Menſchen. Die Erfindung der Taucherglocke ſcheint ſehr alt zu ſeyn, ſchon im Anfange des 16. Jahrhunderts wurde ſie in Europa gebraucht, und iſt ſeitdem vielfach in Anwendung gekommen. Doch iſt dabei der Umſtand ſehr läſtig, daß die Luft in der Glocke bald durch das Athmen verdorben wird, alſo bei längerem Aufenthalt unter Waſſer fortwährend erneuert werden muß, und daß man ſich wegen der zu ſtarken Verdichtung der Luft und des daraus entſtehenden Druckes auf den menſchlichen Körper (er beträgt für jede 32 Fuß Tiefe um eine Atmoſphäre mehr), nicht in bedeutende Tiefen wagen darf. Wie weit das Waſſer dabei in die Glocke dringt, wenn nicht von oben Luft nachgeſchafft wird, läßt ſich nach dem Mariotte'ſchen Geſetze leicht beurtheilen.

Der Stechheber iſt eine wenige Fuß lange, beiderſeits offene, oben bedeutend erweiterte und in eine enge Mündung ſich endigende Röhre, Fig. 87, mittelſt der man Flüſſigkeiten aus Fäſſern heraushebt. Man taucht die Röhre in die Flüſſigkeit, und ſaugt am äußeren Ende, ſchließt dann das letztere, und zieht die Röhre ſammt Inhalt aus der Flüſſigkeit.

Der gekrümmte Heber iſt eine gewöhnlich etwa 2 Fuß lange, gebogene Röhre, wovon meiſtens ein Schenkel länger iſt als der andere (Fig. 88 und 89). Gibt man dem Heber gleich lange Schenkel, ſo pflegt man ſelbe an den Enden etwas aufwärts zu biegen (Fig. 90). Man nennt ihn würtembergiſchen Heber. Füllt man eine ſolche Röhre durch Saugen oder auf eine andere Weiſe mit einer Flüſſigkeit, z. B. Waſſer, und läßt beide Schenkel abwärts gehen, ſo bleibt dieſes, wenn die Mündungen beider Schenkel in dieſelbe Horizontalebene fallen, zumal wenn ſelbe aufwärts gebogen ſind, wodurch dem Aufſteigen der äußeren Luft in die Schenkel vorgebeugt wird, im Gleichgewichte; ſteht aber die Mündung eines Schenkels tiefer als die andere, ſo fließt das Waſſer durch die tiefere Mündung ab. Dieſes Phänomen beruht auf dem Drucke des Waſſers und der Luft. Stehen beide Mündungen gleich tief, ſo ſind die gleichnamigen Kräfte beiderſeits gleich, und heben ſich daher auf. Haben aber beide Mündungen nicht gleich tiefen Stand, ſo ſey P der abwärts gerichtete Waſſerdruck, ferner Q der aufwärts gerichtete Luftdruck an der tieferen Mündung, und p, q die gleichnamigen Kräfte an der höher ſtehenden. Offenbar iſt $Q > P$, $q > p$; man hat daher als Reſultirende dieſer Kräfte an der tieferen Mündung den Druck $Q - P$ und an der anderen den Druck $q - p$, beide aufwärts wirkend. Aber die Differenz beider iſt $Q - P - (q - p)$, welchen Ausdruck man auch ſo ſchreiben kann: $Q - q - (P - p)$; da nun $Q - q$ den Druck einer Luftſäule anzeigt, deren Höhe dem Höhenunterſchiede der beiden Mündungen gleich iſt, und $P - p$ den Druck einer gleich hohen Waſſerſäule, ſo iſt offenbar $Q - q < P - p$ mithin

obige Differenz negativ, alſo auch $Q - P < q - p$. Die aufwärts wirkende Reſultirende an der tiefern Mündung iſt demnach die ſchwächere, und folglich fließt das Waſſer da heraus. Tauchen die Schenkel des Hebers in Waſſer, ſo iſt der Stand der Waſſerfläche als jener der correſpondirenden Hebermündung anzuſehen. Man ſieht leicht ein, warum, wenn die eine Mündung in Waſſer taucht, der Ausfluß des Waſſers aus der anderen ſo lange währt, als jener Waſſerſpiegel über der Ausflußöffnung ſteht, denn die Ungleichheit oben genannter Kräfte dauert fort. Allein es iſt klar, daß die verticale Höhe der Heberkrümmung über der höher liegenden Mündung nicht mehr betragen darf, als die Höhe der Flüſſigkeitsſäule, die dem Luftdrucke das Gleichgewicht hält, denn ſonſt ſinkt die Flüſſigkeit wie in einem Doppelbarometer zu beiden Seiten herab. Man kann daher den Heber nicht wie einſt Porta (am Anfange des 17. Jahrhunderts vor Torricelli's Entdeckung) meinte, gebrauchen, um Waſſer über Anhöhen zu leiten, denn dieſe dürften die geringe Höhe von 32 Fuß nicht erreichen. Unter dem Recipienten der Luftpumpe hört, wenn die Luft gehörig verdünnt worden iſt, das Ausfließen des Waſſers aus dem Heber auf. Die Form des Hebers (Fig. 89) dient zum Anſaugen von Flüſſigkeiten, die man nicht in den Mund bringen darf, und heißt Giftheber. Der würtembergiſche Heber kann aus der Flüſſigkeit, die durch ihn abfließt, gehoben werden, und bleibt, wenn man ſich hüthet ihn ſtark zu neigen, gefüllt; taucht man ihn ein, ſo beginnt der Abfluß von Neuem.

Die Mariotte'ſche Flaſche, Fig. 91, hat die Geſtalt einer gewöhnlichen Flaſche, nur iſt ſie ſeitwärts in einiger Entfernung vom Boden mit einer kleinen Oeffnung A verſehen, und es geht durch den gut ſchließenden Stöpſel am Halſe ein oben und unten offenes Rohr bc luftdicht hindurch. Iſt die Flaſche mit Waſſer gefüllt, und das Rohr ſo weit hinabgeſchoben, daß das Ende c tiefer ſteht, als die Oeffnung A (Fig. 91, a), ſo ſtellt ſich das Waſſer im Rohre dergeſtalt, daß deſſen Oberfläche ſich mit A in derſelben Horizontalebene befindet. Auf dieſe Weiſe halten nämlich die aus dem Luft- und Waſſerdrucke im Rohre und an der Seitenöffnung hervorgehenden Kräfte einander das Gleichgewicht. Steht aber das Ende c des Rohres höher als die Oeffnung A (Fig. 91, b), ſo fließt aus letzterer, während durch das Rohr Luft in die Flaſche dringt, fortwährend Waſſer ab, bis endlich der Flüſſigkeitsſpiegel in der Flaſche nur bis A reicht. Beachtenswerth hierbei aber iſt, daß das Waſſer aus der Oeffnung A durch den zum Gleichgewichte fehlenden Druck einer Waſſerſäule von der Höhe, in der das Ende c des Rohres über A ſteht, mithin durch eine von der Stellung des Waſſerſpiegels in der Flaſche unabhängige Kraft herausgetrieben wird, alſo fortwährend mit einerlei Geſchwindigkeit ausfließt, ein Umſtand, der nützliche Anwendungen geſtattet. Man kann ſtatt der Seitenöffnung A an der Flaſche einen Heber DA (Fig. 92) anbringen, und die Röhre BC oben ſeitwärts krümmen, nur müſſen die Röhren durch den an den Flaſchenhals gut paſſenden Stöpſel luftdicht gehen. Bläſt man bei B Luft ein, ſo beginnt das Ausfließen der in der Flaſche befindlichen Flüſſigkeit, mit einer conſtanten Geſchwindigkeit, die man durch die Höhe, in welche man das Ende C des Luftrohres über die Hebermündung A ſetzt, reguliren kann. Saugt man bei B Luft heraus, ſo wird das Ausfließen unterbrochen. Während des Ausfließens iſt die Luft ober der Flüſſigkeitsfläche in der Flaſche verdünnt, und ihr Druck gibt mit dem Drucke der Flüſſigkeit auf C zuſammen genommen, eine dem äußeren atmoſphäriſchen Drucke gleiche Summe. Man erſieht hieraus die Nothwendigkeit des luftdichten Ver-

ſchluſſes am Halſe der Flaſche zur Erzielung einer conſtanten Ausflußgeſchwindigkeit.

Eine **Sicherheitsröhre** nennt man eine beiderſeits offene, gerade, oder beſſer gebogene Röhre, die man an einem Gasrecipienten oder an einer Gasentwicklungsflaſche anbringt, um nebſt dem Verſchluſſe derſelben, noch gewiſſe andere, den Gang einer chemiſchen Operation ſichernde Zwecke zu erreichen, z. B. um den Grad der Ausdehnſamkeit des darin befindlichen Gaſes zu erkennen; dem Gaſe bei zu großer Anhäufung einen Ausweg, oder bei plötzlicher Verminderung der inneren Spannkraft der atm. Luft den Eintritt zu geſtatten, und in dem einen wie auch in dem andern Falle dem Zerſpringen des Gefäßes vorzubeugen; um Flüſſigkeiten zum Behufe der Fortſetzung der Gasentwicklung in das Gefäß gießen zu können, ohne es zu öffnen, und dadurch zu verhüthen, daß das Gas entweiche oder mit atm. Luft verunreiniget werde ꝛc. Es ſey A (Fig. 93) eine Flaſche, die zum Theil mit Waſſer oder einer anderen Flüſſigkeit, zum Theil mit Gas gefüllt iſt, und a die Sicherheitsröhre, welche, wenn ſie gerade iſt, bis nahe an den Boden der Flaſche reicht, was jedoch nicht nöthig iſt, wenn man der Röhre zweckmäßige Biegungen gibt. Hat das Gas eine mit der äußeren Luft gleiche Expanſivkraft, ſo wird auch die Flüſſigkeit in der Flaſche und in der geraden Röhre, oder in den Schenkeln der gebogenen, gleich hoch ſtehen; ſo wie aber der Gasdruck zunimmt, ſteigt die Flüſſigkeit in der Röhre, bis der Druck der flüſſigen Säule, verſtärkt durch den äußeren Luftdruck, das Gleichgewicht herſtellt. Man wird daher aus den Veränderungen des Standes der Flüſſigkeit in der Röhre wahrnehmen können, ob Gas abſorbirt wird, oder ob neues hinzukommt, vorausgeſetzt, daß Temperatur und Luftdruck beſtändig bleiben. Vermehrt ſich die Gasmaſſe über Gebühr, ſo kann ein Theil derſelben, indem er die Flüſſigkeit in den andern Schenkel drängt, austreten. Auf demſelben Wege kann man auch Flüſſigkeit nachfüllen. Damit eine ſolche Röhre bei einer mäßigen Länge doch viel Flüſſigkeit faſſe, dieſe daher nicht überlaufe, ſo bringt man an gewiſſen Stellen kugelförmige Erweiterungen an. Eine ſolche Röhre heißt eine **Welter'ſche** Sicherheitsröhre.

Gaſometer nennt man im Allgemeinen jedes zur Aufbewahrung eines Gaſes dienende Gefäß, aus welchem das Gas durch Röhren mittelſt Waſſer oder Queckſilberdruckes herausgelaſſen werden kann, wobei man noch in vielen Fällen die Forderung macht, daß dieſes in einem regelmäßigen Strome geſchehe. Soll der Apparat ſeiner Benennung vollkommen entſprechen, ſo muß er auch Mittel darbieten, ſowohl die Quantität des in demſelben noch vorhandenen Gaſes, wie auch deſſen Spannung zu beurtheilen. Fig. 94 ſtellt einen Apparat dieſer Art vor, wie man ihn im Großen in Gasbeleuchtungsanſtalten verwendet. A iſt ein oben offenes, Waſſer enthaltenes Gefäß; in demſelben bewegt ſich ein zweites umgeſtürztes kleineres B auf und nieder; es dient zur Aufnahme des Gaſes, und drückt ſelbes durch ſein Gewicht zuſammen: dieſer Druck wird nach Bedürfniß durch Gegengewichte C regulirt. Das Gas wird durch die eine der Röhren D eingefüllt, und tritt durch die andere aus. Fig. 95 ſtellt **Pepys**, zu phyſikaliſchen Verſuchen äußerſt bequemen Gasbehälter dar. Bei dem Gebrauche füllt man ihn zuerſt mit Waſſer. Man gießt ſelbes durch das obere Gefäß A ein, nachdem man die Oeffnung a und den Hahn b geſchloſſen, die Hähne c und d aber geöffnet hat. Die Luft entweicht durch d, während das Waſſer durch die bis an den Boden des unteren Gefäßes B gehende Röhre f g eindringt. Iſt nun ein Gas zu entwickeln, ſo ſchließt man die Hähne b c d, und öffnet den Verſchluß

bei a. Da das kurze Rohr daſelbſt eine aufwärts gekehrte Mündung hat, ſo kann die atm. Luft nicht eindringen, und das Waſſer wird durch ihren Druck in B zurückgehalten. Das Entbindungsrohr wird ſodann in a eingeführt und das Waſſer läuft, ſo wie Gas in B eintritt, durch a neben dem Rohre ab. Schließt man a und öffnet man c, ſo kann man das Gas entweder durch b austreten laſſen, oder, wenn eine Flaſche oder Glocke damit zu füllen iſt, dieſe mit Waſſer gefüllt über die Mündung e in A ſetzen. Den jedesmaligen Stand des Gaſes in B erkennt man, wenn dieſes Gefäß nicht von Glas iſt, mittelſt des gläſernen Seitenrohres mn, welches mit B oben und unten in Communication ſteht. (Zeneck's Myzogaſometer in Zeitſchr. 11, 256.)

Ein Blaſebalg iſt ein luftdichter, lederner oder hölzerner Kaſten, deſſen innerer Raum ſich vergrößern und verkleinern läßt, und beim Erweitern durch eine enge Oeffnung Luft ſchöpft, die er beim Verkleinern durch eine andere Oeffnung entweichen läßt. Um einen ununterbrochenen Luftſtrom zu erhalten, wird die Luft zunächſt in einen zweiten, auf ähnliche Weiſe conſtruirten Behälter getrieben, der mit einem Gewichte beſchwert iſt (doppelter Blaſebalg).

Der Heronsball nach Heron von Alexandrien, der um d. J. 600 n. Chr. lebte, ſo genannt (Fig. 96), iſt ein Gefäß, das mit einer engen, offenen, bis an den Boden reichenden Röhre verſehen, übrigens aber luftdicht verſchloſſen iſt. Füllt man es zum Theil mit Waſſer, und verdichtet dann die innere Luft, ſo ſpringt erſteres durch die Röhre heraus.

Der Heronsbrunnen (Fig. 97) iſt ein Heronsball, der mit einem andern, luftdichten Gefäße mittelſt zwei Röhren verbunden iſt, wovon die eine am oberen Boden jedes Gefäßes ſich endigt, während die andere durch den ganzen Heronsball geht, mit dem einen Ende bis an den unteren Boden des unteren Gefäßes reicht, und mit dem andern ſich nach außen in einen über dem oberen Gefäße befindlichen tellerartigen Aufſatz öffnet. Enthält dieſer Waſſer, ſo fließt es durch die letztgenannte Röhre ins untere Gefäß, vertreibt daraus die Luft, die nun in den Heronsball kommt, und daſelbſt ein Hervorſpringen des Waſſers bewirkt, das ſich in dem oberen Teller ſammelt, und dann in das untere Gefäß abfließt. Dieß geht ſo lange fort, als noch im Heronsballe Waſſer vorhanden iſt. Wird das Ausflußrohr des Heronsballes nach oben verlängert, ſo ſteigt das Waſſer darin ſo weit empor, daß die Höhe der gehobenen Säule jener der drückenden gleich kommt. Die zwiſchen beiden Waſſerſäulen enthaltene Luft dient dann bloß als Fortpflanzungsmittel des Druckes. Man kann dem Heronsbrunnen mit Hülfe des Princips der Mariotte'ſchen Flaſche eine ſolche Einrichtung geben, daß die Kraft, mit welcher das Waſſer herausgetrieben wird, nicht von dem Stande desſelben im oberen und unteren Gefäße abhängt, ſondern ſich ſtets gleich bleibt. Man hat davon eine ſinnreiche Anwendung auf Conſtruction von Oehllampen gemacht, worin dem Dochte ſtets gleichmäßig Oehl zugeführt werden ſoll. Doch haben dieſe den Nachtheil, daß ſich die Lichtſtärke bei plötzlicher Temperaturänderung raſch ändert, weil hiedurch die Federkraft der Luft und ſomit der Oehlzufluß geändert wird. Die Einrichtung des Heronsbrunnens wurde auch zum Waſſerheben benützt (Hell's Luftſäulenmaſchine).

Der Lichterbrunnen iſt ein Heronsball, der mit einem Luftbehälter in Verbindung ſteht. Wird die Luft in letzterem durch untergeſetzte Lichtflammen erhitzt, ſo treibt ſie das im Heronsballe vorhandene Waſſer in Folge ihrer geſteigerten Expanſivkraft heraus.

Eine Saugpumpe (Fig. 98.) beſteht aus einer höchſtens 28 Fuß

langen Röhre a (Saugröhre), deren unteres Ende in das zu hebende Waſſer getaucht iſt, während das obere b mit einem hohlen Cylinder (Stiefel) in Verbindung ſteht, in welchem ein Kolben luftdicht auf und ab bewegt werden kann. Wo die Saugröhre mit dem Stiefel verbunden iſt, hat letzterer ein Ventil c, das ſich von unten nach oben öffnet; ein ähnlich eingerichtetes hat auch der Kolben d. Durch das Aufziehen des Kolbens wird die Luft im Stiefel verdünnt; dieſes macht, daß die Luft in der Saugröhre das Bodenventil hebt, und zum Theil in den Stiefel tritt; beim Hinabdrücken des Kolbens ſteigt ſie über ſein Ventil und kommt ins Freie. Mit dieſer Luftverdünnung in der Saugröhre ſteht das Steigen des Waſſers in Verbindung. Durch wiederholtes Kolbenſpiel tritt es über das Bodenventil in den Stiefel und endlich gar über den Kolben bis zur Ausgußröhre e. Die Saugpumpe wirkt alſo, ſo lange das Waſſer nicht über das Kolbenventil gebracht worden iſt, als Luftpumpe, wobei der Einfluß des ſchädlichen Raumes nicht außer Acht gelaſſen werden darf. Dieſer Umſtand beſchränkt ſeinerſeits die Länge des Saugrohres, die deßhalb noch bedeutend geringer ſeyn muß, als die Höhe der Waſſerſäule, welche die Luft zu tragen vermag.

Die Druckpumpe (Fig. 99) hat einen Stiefel mit einem Bodenventil a, das ſich von unten nach oben öffnet, und einen luftdicht ſchließenden, beweglichen Kolben b. An der Seite des Stiefels befindet ſich eine aufwärts gekrümmte Röhre c (Steigröhre) mit einem Ventile d, das ſich von innen nach außen öffnet. Wenn beim Heben des Kolbens und der dadurch bewirkten Luftverdünnung das Waſſer in den Stiefel geſtiegen iſt, ſo wird es beim Herabdrücken des Kolbens in die Steigröhre getrieben, und weil das Ventil es nicht mehr zurückläßt, ſelbſt wenn der Kolben gehoben wird, ſo kommt es mit jedem Kolbenſtoße höher zu ſtehen, und gelangt endlich gar zur Ausgußöffnung e.

Die Feuerſpritze (Fig. 100) beſteht gewöhnlich aus zwei Druckpumpen a, a, die das Waſſer in einen Heronsball b pumpen, aus welchem es mittelſt eines beweglichen Rohres oder eines Schlauches (Schlange) hervorſpritzt.

Die Windbüchſe (Fig. 101) beſteht aus einem ſehr ſtarken metallenen Gefäße a (Flaſche), in welchem die Luft ſtark (etwa 60mal) verdichtet worden iſt, und das durch eine Klappe verſchloſſen wird, die ſich von außen nach innen öffnet. An die Flaſche iſt das Rohr b angeſetzt, aus welchem eine Kugel ausgeſchoſſen werden kann, wenn durch einen Stoß die Klappe der Flaſche geöffnet wird.

Mehrere der hier beſprochenen Vorrichtungen waren bereits den Alten bekannt, z. B. die Heber, von denen ſchon Heron vielfältige Anwendungen gemacht hat, oder exiſtiren ſchon viele Jahrhunderte wie die Pumpen, Feuerſpritzen u. dgl. Die genaue Kenntniß der Eigenſchaften der Luft verhalf zur Erklärung der älteren und zur Erfindung vieler neueren Geräthſchaften dieſer Art, worüber vornehmlich die neuere Ausgabe des Gehler'ſchen phyſ. Wörterbuches vielfache Belehrung bietet. S. die Artikel Heber, Pumpe, Springbrunnen u. dgl. Die oben zuletzt genannten Spielwerke findet man größtentheils in Wolfii Elementa Matheseos. Gen. 1746. Tom. 2. Oder in den Erinnerungen aus Lichtenberg's Vorleſungen von Gamauf. Wien. 2. Bd. S. 15—22.

252. Man denke ſich in ein beſtimmtes Volum V zwei verſchiedene Gaſe gebracht, wovon das eine, wenn es bei der herrſchenden Temperatur dieſes Volum für ſich allein erfüllte, die Spannkraft P

und eben ſo das andere für ſich allein genommen die Spannkraft Q zeigen würde. Wenn dieſe Gaſe ſich im Volum V mit einander vermengen, ohne jedoch auf einander chemiſch einzuwirken, ſo wird aus ihrem Zuſammenſeyn eine gewiſſe Spannung hervorgehen, die wir gegenwärtig unterſuchen wollen. Man nehme vor der Hand an, die Gaſe ſeyen im Raume V durch eine bewegliche Scheidewand getrennt, ſo wird zum Gleichgewichte erfordert, daß dieſe von beiden Seiten einerlei Druck erleide. Heißt die dieſem Drucke entſprechende Spannkraft S, welche zugleich die in der Geſammtmaſſe herrſchende iſt, und ſind V′, V″ die Volume, welche die Gaſe hiebei einnehmen, ſo hat man nach dem Mariotte'ſchen Geſetze:

$$P : S = V' : V \text{ und eben ſo } Q : S = V'' : V, \text{ mithin}$$
$$P : Q = V' : V'', \text{ folglich auch } P : P + Q = V' : V' + V''.$$

Aber es iſt $V' + V'' = V$, daher auch, wie die Vergleichung der letzten Proportion mit der erſten lehrt, $S + P = Q$. In dieſem Falle kommt alſo die Spannkraft, mit welcher beide Gaſe das gegebene Volum einnehmen, der Summe der Spannkräfte gleich, mit welchen ſie, einzeln betrachtet, dieſes Volum ausfüllen würden. Offenbar iſt dieſe Betrachtung auf den Fall nicht anwendbar, wenn ſich beide Gaſe mit einander gleichförmig mengen; allein die Erfahrung lehrt, daß auch die Spannkraft eines Gasgemenges der Summe der auf denſelben Raum ſich beziehenden Spannkräfte der Gemengtheile gleich iſt. Man erſieht hieraus, daß in einem Gemenge zweier einander nicht chemiſch afficirenden Gaſe jedes den Raum, wie mit derſelben Dichte, eben ſo auch mit derſelben Spannkraft behauptet, welche es zeigen würde, wenn das andere Gas nicht vorhanden wäre oder ſich lediglich wie eine höchſt poröſe, nach allen Richtungen gleich durchdringliche Scheidewand verhielte, die dem Volum des erſteren, weil ſie die Theilchen desſelben nicht zwingt, einander näher zu treten, gar keinen Eintrag thut. Da nun dem zu Folge die Spannkraft eines Gasgemenges nur durch die Abſtoßung beſtimmt wird, welche die Molekel jedes Gemengtheiles auf einander ſelbſt ausüben, alſo jeder Gemengtheil für ſich im Gleichgewichte ſteht; ſo muß man wohl den von Dalton zuerſt ausgeſprochenen Satz gelten laſſen, daß zwei Gaſe, die auf einander keine chemiſche Einwirkung äußern, wenn ſie in Contact gerathen, ſich völlig paſſiv zu einander verhalten, nämlich die Molekel des einen gegen die Molekel des andern keine Kraft ins Spiel ſetzen. Die Richtigkeit dieſes Satzes wird noch durch die Erfahrung auf das Augenſcheinlichſte beſtätigt, daß zwei heterogene Gaſe, z. B. Kohlenſäure und Waſſerſtoffgas, die ſich nicht chemiſch mit einander verbinden, und bei gleichen Spannkräften in zwei über einander ſtehenden, bloß durch eine Oeffnung mit einander in Communication geſetzten Gefäßen enthalten ſind, ſo zwar, daß das ſpecifiſch ſchwerere (das Kohlenſäuregas) den unteren, das leichtere (das Waſſerſtoffgas) den oberen Raum einnimmt, nicht im Gleichgewichte bleiben, ſondern von jedem ſo viel in den Raum des andern eindringt, als nöthig iſt, um eine völlig gleichförmige Mengung darzuſtellen. Nur erfolgt der Uebertritt jedes Gaſes in den be-

nachbarten Raum langſamer, als wenn dieſer urſprünglich völlig leer geweſen wäre, ſo nämlich, daß jedes Gas für das andere als mechaniſches Hinderniß anzuſehen iſt, welches die Zugänge verengert. Befindet ſich demnach in einem Raume V ein Quantum Q und in einem zweiten Raume V′, der mit erſterem in Communication ſteht, ein Quantum Q eines und deſſelben Gaſes, ſo verhalten ſich die Kräfte, womit die homogenen Gastheile bei gleicher Temperatur an der Verbindungsſtelle auf einander einwirken, nach dem Mariotte'ſchen Geſetze wie $\frac{Q}{V} : \frac{Q'}{V'}$, d. h. wie die denſelben zugehörenden Dichten, es mögen nun in dieſen Räumen noch andere Gaſe vorhanden ſeyn oder nicht.

Von dieſem Geſetze läßt ſich eine wichtige Anwendung auf die atmoſphäriſche Luft machen, die ein Gemenge von Sauerſtoffgas und Stickgas iſt. Wird in einem mit der äußeren Luft in Verbindung ſtehenden Raume durch Athmen oder Verbrennen Sauerſtoff verzehrt, ſo wird in ſo fern nur das Gleichgewicht des Sauerſtoffes in genanntem Raume mit dem Sauerſtoffe in der Atmoſphäre geſtört, und es dringt aus letzterer, um den Verluſt zu erſetzen, Sauerſtoff in erſteren ein.

253. Bei zwei heterogenen, mit einander durch ſehr enge Oeffnungen in Berührung befindlichen Gaſen erſcheint jedoch das Beſtreben, jedes derſelben in den Raum des andern einzudringen, d. i. ſich zu diffundiren, nicht gleich. Iſt nämlich die Scheidewand, welche zwei Gaſe von einander trennt, für dieſelben durchdringlich, wie z. B. thieriſche Blaſen, Holz, gebrannter, aber nicht glaſirter Thon, gebrannter, in Waſſer abgerührter und hierauf getrockneter Gips ꝛc.; ſo dringen von jedem Gaſe Volume durch die Wand, welche ſich (nach Graham) umgekehrt wie die Qudratwurzeln der Dichte der Gaſe verhalten, vorausgeſetzt, daß die Gaſe nicht chemiſch auf einander wirken und ihr Druck zu beiden Seiten der Scheidewand während des ganzen Verlaufes gleich groß erhalten wird. Wenn von jedem der zwei Gaſe ein dieſem Geſetze entſprechender Theil durch die Scheidewand gegangen iſt, herrſcht Gleichgewicht. Dieſes tritt aber ſchon früher ein, und die Strömung der Gaſe durch die Scheidewand hört auf, wenn der Druck auf letztere nicht von beiden Seiten gleich erhalten wird.

Verſuche über dieſen Gegenſtand ſtellt man am leichteſten an, indem man ein beiderſeits offenes Glasrohr mit einer Blaſe verbindet, oder noch beſſer es mit einem Stöpſel von gebranntem, mit Waſſer angemachten und dann in der Luft gut getrockneten Gips verſieht, ein Gas einfüllt, es durch Queckſilber oder, jedoch mit der Vorſicht, den Stöpſel nicht zu benetzen, durch Waſſer ſperrt, und das Ganze ſammt der Sperrflüſſigkeit in ein Gefäß bringt, welches das zweite Gas enthält, ſo daß beide Gaſe durch die Sperrflüſſigkeit und durch die poröſe Scheidewand von einander getrennt ſind. Bei Verſuchen mit irgend einem Gaſe und atm. Luft kann der zweite Recipient wegbleiben. Während des Verſuches muß die Sperrflüſſigkeit ſorgfältig regulirt werden, damit ſie immer in beiden Gefäßen gleich hoch ſtehe. Iſt das in der Röhre befindliche Gasvolum ſtationär geworden, ſo theilt man den Rauminhalt des entwichenen Gaſes durch jenen des dafür eingetrete-

nen, und erhält ſo den Diffuſionsquotienten; Graham fand denſelben für Hydrogengas und atm. Luft im Durchſchnitte aus fünf Verſuchen = 3,848. Wird die Dichte des Hydrogengaſes 0,0688 geſetzt, ſo erhält man, obigem Geſetze gemäß, für dieſen Quotienten 3,8125. (Pogg. Ann. 17. 341; 28. 331; Schweigg. J. 67. 215 Zeitſchr. 8. 9; Graham's Lehrbuch der Chemie. 1. S. 83.)

Mit der hier betrachteten Diffuſion iſt die Durchführung gewiſſer Gaſe, die vom Waſſer begierig aufgenommen werden, durch feuchte Membranen nicht zu verwechſeln. Gibt man z. B. eine naſſe, mit atm. Luft zum Theil gefüllte und zugebundene Blaſe in eine Kohlenſäure-Atmoſphäre, ſo ſchwillt ſie in Folge des Ueberganges von Kohlenſäure in ſelbe binnen 12—24 Stunden bis zum Berſten auf, während nur ſehr wenig atm. Luft aus der Blaſe entweicht. Hier wird das Gas vom Waſſer verſchluckt, geht mit dieſem durch die Blaſe, und entweicht im Innern wieder nach Geſetzen, deren Erörterung wir ſogleich vornehmen wollen.

254. Während gasförmige Körper verſchiedener Art, abgeſehen von chemiſcher Verbindung, keine Einwirkung auf einander erkennen laſſen, zeigt ſich, wenn feſte oder tropfbare Körper mit Gaſen in Berührung ſind, eine namhafte Einwirkung erſterer auf letztere. Es wird nämlich eine mehr oder weniger beträchtliche Menge des Gaſes von dem feſten oder flüſſigen Körper eingeſogen oder abſorbirt, ohne daß eine chemiſche Verbindung des Gaſes mit dem genannten Körper vor ſich geht, gerade ſo, als ob nur die abſtoßende Kraft, welche zwiſchen den Theilchen des eingeſogenen Gaſes herrſcht, vermindert worden wäre. Dieß zugegeben, ſieht man leicht, daß das abſorbirte Gas dem außerhalb des abſorbirenden Körpers befindlichen mit einer geringeren ſpecifiſchen Spannkraft entgegen wirken werde, und in Folge deſſen, um mit dieſem wieder in das Gleichgewicht zu kommen, eine größere Dichte erlangen müſſe. Die Menge des Gaſes, welche ein Körper abſorbirt, richtet ſich nach der materiellen Beſchaffenheit, namentlich nach der Reinheit beider, und wird überdieß durch Druck und Temperatur bedingt. Sie iſt, wie Henry zuerſt gezeigt hat, bei gleicher Temperatur im Allgemeinen dem Drucke direct proportionirt, ſo daß das Volum des abſorbirten Gaſes für jeden Druck dasſelbe bleibt, und ſich nur mit der Beſchaffenheit des Gaſes und des abſorbirenden Körpers ändert. Temperaturerhöhung wirkt der Abſorption entgegen. Ein Körper, der mit einem Gaſe geſättigt iſt, kann noch von einem andern etwas aufnehmen, ja in gewiſſen Fällen wird von einem Gasgemenge ſogar mehr aufgenommen, als wenn man die Gemengtheile einzeln der Abſorption preis gibt. Dichtere, aber doch poröſe Körper, abſorbiren bei ſonſt gleicher materieller Beſchaffenheit mehr als minder dichte, wenigſtens bis zu einer gewiſſen Grenze; durch Pulverform jedoch wird das Abſorptionsvermögen im Allgemeinen geſchwächt.

Unter den feſten, Gaſe abſorbirenden Körpern iſt die Kohle am ſorgfältigſten unterſucht. Es beſtätigen ſich bei ihr die ſo eben ausgeſprochenen Geſetze vollkommen. Trockene und luftleere Kohle abſorbirt mehr als ſolche, die bereits Luft oder Waſſer oder beides aufgenommen hat. Nach Th. v. Sauſſure abſorbirt Korkkohle, deren Dichte 0,1 iſt,

faſt keine Luft, Tannenkohle von 0,4 Dichte 4,5 Volume, Buchsbaumkohle von 0,6 Dichte 7,5 Vol., Steinkohle von 1,326 Dichte 10,5 Vol., noch dichtere Kohle aber nichts. Bei einer Temperatur von 11—13° C. werden von Buchsbaumkohle aufgenommen Ammoniakgas 90 Vol., Kohlenſäuregas 35 Vol., Sauerſtoffgas 9,25 Vol., Stickgas 7,5 Vol., Waſſerſtoffgas 1,75 Vol. Sauerſtoffgas wurde von nachſtehenden Körpern in den folgenden Quantitäten abſorbirt: Meerſchaum 1,49 Vol., Gips 0,58, Haſelholz 0,47, Tannenholz 0,5, Leinfäden 0,35, Wolle 0,43, Seide 0,44. Waſſer abſorbirt von öhlbildendem Gas 0,155 Vol., Stickoxydul 0,76, Kohlenſäure 1,06; Olivenöhl von denſelben Gaſen nach der Ordnung 1,22, 1,50, 1,51 Vol. Das Verhältniß, in welchem Waſſer aus der atm. Luft Sauerſtoffgas und Stickgas aufnimmt, iſt ein anderes als jenes, in welchem dieſe Stoffe ſich in der Luft befinden, und zwar wird vom Sauerſtoffgas vergleichungsweiſe eine größere Menge als vom Stickgas abſorbirt. Das Abſorptionsvermögen der Kohle wurde 1777 von Fontana und Scheele zugleich entdeckt. (S. den Artikel »Abſorption« in Liebig und Poggendorff's Handwörterbuch der Chemie und in der neuen Ausgabe des Gehler'ſchen phyſ. Wörterbuches.)

255. Die von feſten und tropfbaren Körpern abſorbirten Gaſe ſtehen mit den freien nach denſelben Geſetzen im Gleichgewichte, welche für ſolche Gaſe aufgeſtellt worden ſind, die mittelſt einer durchdringlichen Scheidewand mit einander communiciren, vorausgeſetzt, daß man die durch die abſorbirende Kraft veränderte Ausdehnſamkeit des abſorbirten Gaſes berückſichtiget. Man denke ſich z. B. Waſſer mit Sauerſtoffgas in Berührung, einen Theil deſſelben bereits abſorbirt, und das freie Gas mit dem abſorbirten im Gleichgewichte. Wird nun die Dichte des freien Gaſes vermehrt, ſo muß auch jene des abſorbirten zunehmen, welches durch Abſorption eines neuen Quantums geſchieht, wenn das Gleichgewicht bei dieſer Lage der Dinge fortdauern ſoll. Auf gleiche Weiſe muß ein Theil des abſorbirten Gaſes frei werden, wenn die Dichte oder der Druck des äußeren vermindert wird. Aendert ſich die Temperatur des Gaſes und der abſorbirten Flüſſigkeit, ſo nehmen zwar die Expanſivkräfte des freien und des abſorbirten Gaſes auf gleiche Weiſe ab oder zu, aber der Erfolg fällt verſchieden aus, je nachdem das freie Gas entweichen kann oder nicht. Iſt erſteres der Fall, ſo bleibt ungeachtet der Temperaturänderung der Druck des freien Gaſes auf die Flüſſigkeit derſelbe, während die Spannkraft des abſorbirten ſich ändert und beim Erwärmen wächſt, beim Erkalten abnimmt. Es muß daher bei einer Statt habenden Erwärmung ein Theil des abſorbirten Gaſes frei gelaſſen, bei einer Erkältung hingegen ein neues Quantum abſorbirt werden, abgeſehen von der etwa durch die Temperaturänderung hervorgebrachten Modification des Abſorptionsvermögens der Flüſſigkeit. Iſt die freie Luft ſo eingeſchloſſen, daß ſie nicht entweichen kann, ſo bringt eine Temperaturänderung im freien und im abſorbirten Gaſe dieſelbe Aenderung der Expanſivkraft hervor, und es wird das abſorbirte Gas weder vermehrt, noch vermindert. Dieſes iſt das von Dalton auf empiriſchem Wege gefundene Geſetz, vermög welchem das Verhältniß zwiſchen dem abſorbirten und dem freien Gaſe bei jedem Temperaturwechſel unverändert bleibt, wenn nur die tropf-

bare Flüſſigkeit nicht zum Frieren oder zum Sieden gebracht wird. Bringt man über eine Flüſſigkeit, die ſchon Gas abſorbirt hat, eine andere Luftart, ſo wird zur Herſtellung eines ſtabilen Gleichgewichtes ein Theil des abſorbirten Gaſes frei, ein Theil des freien abſorbirt, und es tritt ſowohl im abſorbirten als im freien Gaſe eine gleichförmige Mengung beider ein.

Dieſe Geſetze des Gleichgewichtes abſorbirter Gaſe mit freien ſind nicht bloß in theoretiſcher Hinſicht wichtig, ſondern geſtatten vielfache practiſche Anwendungen. Sie lehren z. B., daß es nothwendig ſey, ein Barometer von Zeit zu Zeit von Neuem auszukochen, weil vom Queckſilber beſtändig Luft eingeſaugt wird; daß man auf die Reinheit eines Gaſes, das längere Zeit durch Waſſer oder Queckſilber geſperrt in einem Gefäße aufbewahrt wurde, nicht viel vertrauen darf. Faraday fand reines Waſſerſtoffgas, das er in einer, mit einem Glaspfropfe verſehenen, umgekehrten Flaſche, deren Hals in Queckſilber geſenkt war, aufbewahrte, nach 15 Monaten völlig durch atm. Luft erſetzt; zwei andere, eben ſo vorgerichtete Flaſchen enthielten nach derſelben Zeit ein Gemenge von Waſſerſtoffgas und atm. Luft. (Pogg. Ann. 8. 124.) Aus denſelben Geſetzen ergeben ſich auch die Mittel, eine Flüſſigkeit mit einem Gaſe zu imprägniren, oder ſie von einem abſorbirten Gaſe zu befreien. Soll eine Flüſſigkeit, z. B. Waſſer, viel von einem Gaſe, z. B. von Kohlenſäuregas aufnehmen (welches beſonders bei der Bereitung vieler künſtlicher Mineralwäſſer der Fall iſt); ſo muß man das freie Gas über der Flüſſigkeit möglichſt ſtark comprimiren, und die Arbeit bei einer den Eispunct nicht weit überſteigenden Temperatur vornehmen. Bouteillenbier, junge luftdicht verſchloſſene Weine kommen durch die fortdauernde Gährung ohne unſer Zuthun mit ſtark verdichtetem Kohlenſäuregas in Berührung, und nehmen daher ſehr viel davon auf. Um eine Flüſſigkeit von der eingeſaugten Luft zu befreien, kann man mehrere Mittel anwenden: 1) Verdünnung der darüber befindlichen Luft. Setzt man den darauf laſtenden Luftdruck auf $1/_{10}$, $1/_{100}$ ꝛc. herab, ſo wird auch nur $1/_{10}$, $1/_{100}$ ꝛc. des eingeſaugten Gaſes zurückbleiben. Die Wirkſamkeit dieſes Mittels verurſacht das Perlen mouſſirender Weine, der Mineralwäſſer, wenn man eine Flaſche derſelben öffnet. Indeß gibt es doch Gaſe, wie z. B. Ammoniakgas, Salzſäuregas, wovon ſelbſt im luftleeren Raume ein Theil mit Waſſer in Verbindung bleibt. Wir ſind geneigt, dieſes als ein Zeichen einer chemiſchen Verbindung des Gaſes mit der tropfbaren Flüſſigkeit zu betrachten, und in allen andern Fällen die Abſorption als mechaniſche Wirkung anzuſehen. 2) Veränderung des damit in Berührung ſtehenden Gaſes. Dadurch wird zwar ein Theil des abſorbirten Gaſes frei, dafür aber ein Theil des neuen Gaſes abſorbirt. 3) Erhitzen oder Erkälten bis zum Frieren. Daher kommen die Luftblaſen im Eiſe. 4) Zuſatz eines gepulverten Stoffes oder eines ſolchen, der ſich in der Flüſſigkeit auflöſet und ein Fluidum erzeugt, das weniger Gas abſorbirt. So z. B. läßt Waſſer die eingeſaugte Luft gröſtentheils fahren, wenn man Schwefelſäure oder Kochſalz damit miſcht.

D. Gleichgewicht der Dünſte.

256. Man weiß ſeit undenklichen Zeiten, daß Waſſer, der freien Luft bei der gewöhnlichen Temperatur in einem offenen Gefäße ausgeſetzt, fortwährend weniger wird und endlich ganz verſchwindet; etwas Aehnliches bemerkt man auch beim Sieden deſſelben, nur mit dem Unter-

ſchiede, daß hier die Verminderung viel ſchneller eintritt. In letzterem Falle kann man nicht läugnen, daß die tropfbare Maſſe in einen luftartigen Körper, in Waſſerdunſt, übergeht, im erſteren aber glaubte man lange annehmen zu müſſen, das Waſſer werde von der Luft eben ſo aufgelöſt, wie z. B. Kochſalz vom Waſſer. Einige Phyſiker, wie z. B. Sauſſure, ließen wohl das Waſſer auch unter der Siedhitze in einen ausdehnſamen Körper übergehen, meinten aber, es werde dieſer erſt nachher von der Luft aufgelöſt. Allein theils die früher bewieſenen Geſetze des Gleichgewichtes der Gaſe (252), unter welchen auch der Waſſerdunſt als expanſibler Körper ſtehen muß, insbeſondere aber die folgenden Verſuche, aus denen hervorgeht, daß das Waſſer und jede andere tropfbare Flüſſigkeit im luftleeren Raume, wo an keine Auflöſung zu denken iſt, nach denſelben Geſetzen verdünſtet, wie in der Luft, und daß der Dunſt die Eigenſchaften, welche er im luftleeren Raume beſitzt, in jeder Luftart unverändert beibehält, laſſen keinen Zweifel übrig, daß Flüſſigkeiten auch unter ihrer Siedhitze verdunſten, und daß der Dunſt in jeder Luftart wirklich eben ſo ſelbſtſtändig beſteht, wie ein Gas in dem andern. (Von den Geſetzen der Dunſtbildung in der Wärmelehre.)

257. Um die Eigenſchaften der Dünſte und die daraus fließenden Geſetze, nach welchen ſie unter ſich und mit andern Kräften ins Gleichgewicht treten, kennen zu lernen, bedient man ſich am beſten des von Dalton gebrauchten Apparates, den Fig. 102 vorſtellt. Man bringt nämlich in den leeren Raum einer Barometerröhre a, die der Länge nach in gleiche Theile getheilt iſt, einige Tropfen der Flüſſigkeit, deren Dünſte man unterſuchen will. Die Barometerröhre umgibt man mit einer weiteren Röhre b von Glas, die oben offen iſt, und durch deren Boden die Barometerröhre luftdicht geſchoben wird, füllt den Zwiſchenraum mit Waſſer aus, bringt dieſes nach und nach auf verſchiedene Temperaturen, die man mittelſt eines Thermometers mit cylindriſchem Gefäße mißt, und vergleicht bei jeder Temperatur die Höhe der Queckſilberſäule in dieſem Barometer mit der in einem gewöhnlichen. Der Unterſchied, um welchen letztere die erſtere übertrifft, gibt offenbar die Größe der Expanſivkraft der entſtandenen Dünſte an. Für höhere Temperaturen bedient man ſich einer, der heberförmigen Röhre ab (Fig. 103) ähnlichen Vorrichtung, in deren geſchloſſenen Arm b man die Flüſſigkeit bringt, um deren Dünſte es ſich handelt; den übrigen Raum füllt man mit Queckſilber, und ſetzt den Apparat wieder den beabſichtigten Temperaturen aus. So wie dem Dunſte eine Spannkraft entſpricht, die größer iſt, als der auf die eingeſperrte Flüſſigkeit ausgeübte Druck von Seite der Queckſilberſäule im Apparate und der äußeren Luft, wird das Queckſilber im eingeſchloſſenen Schenkel herabgedrückt, und die Summe zwiſchen der Höhe der Queckſilberſäule in einem gleichzeitig beobachteten Barometer und derjenigen Säule, um welche das Queckſilber im offenen Arme höher ſteht, als im geſchloſſenen, iſt wieder das Maß der Expanſivkraft der Dünſte. Für Temperaturen unter dem Eispuncte, wo das in der äußeren Röhre (Fig. 102)

entſtandene Eis keine Beobachtung des Standes der Queckſilberſäule mehr erlaubt, hat Gay-Luſſac ſeine Barometerröhre am oberen Ende ſchief gebogen (Fig. 104), und ſie daſelbſt in eine erkältende Miſchung getaucht. Da müſſen alle Dünſte in der Röhre wegen der Kleinheit des Raumes und dem Beſtreben des Dunſtes ſich darin in das Gleichgewicht zu ſetzen, die Spannkraft annehmen, welche der mindeſten daſelbſt herrſchenden Temperatur entſpricht, und man kann ſie wieder leicht aus der Differenz im Stande dieſes Barometers und eines andern daneben befindlichen entnehmen. Um endlich die Spannkraft des Waſſerdunſtes, deſſen Verhalten den Phyſiker am meiſten intereſſirt, bei jeder herrſchenden Temperatur der Atmoſphäre beobachten zu können, empfiehlt Prechtl die in Fig. 105 abgebildete Vorrichtung, die gleichſam ein abgekürztes, gleichſchenkeliges, ganz geſchloſſenes Heberbarometer vorſtellt, in deſſen einem Arme ſich etwas Waſſer befindet, das den Dunſt liefert. Da gibt der Höhenunterſchied der Queckſilberſäulen in beiden Armen die Größe der Spannkraft der Dünſte an.

258. Mittelſt ſolcher Apparate hat man ſich überzeugt, daß ſich bei jeder Temperatur über 0° C. und ſogar noch weit unter 0° C. bis zu einer noch unbeſtimmten Grenze Waſſerdunſt bildet und beſteht, und eine gewiſſe Spannkraft und Dichte erlangen kann, welche nur von der Temperatur abhängt, und ſich nicht, wie dieſes bei Gaſen der Fall iſt, durch Verminderung des Volums vergrößern läßt; denn ſo wie eine ſolche Raumverminderung eintritt, findet keine Verdichtung des Dunſtes Statt, ſondern es geht nur ein Theil deſſelben in tropfbares Waſſer über, und der Reſt hat wieder ſeine vorige Expanſivkraft und Dichte. Dieſe iſt daher für die herrſchende Temperatur ein Maximum. Dieſes Maximum der Dichte und Expanſivkraft wächſt mit der Temperatur, jedoch in einem größeren Verhältniſſe als letztere. Werden Dünſte, die nicht mit Waſſer in Berührung ſind, erwärmt, ſo dehnen ſie ſich, wenn ſie unter einem conſtanten äußeren Drucke ſtehen, wie Gaſe aus (für 1° C. um 0,00365 des Volums bei 0° C.), und nehmen, wenn ſie ſich nicht ausdehnen können, um eben ſo viel an Spannkraft zu; werden ſie abgekühlt, ſo ziehen ſie ſich zuſammen, bis ihre Spannkraft das der herabgeſetzten Temperatur entſprechende Maximum erreicht hat. Dünſte, die mit Waſſer in Berührung ſtehen, verhalten ſich beim Abkühlen, wie die im vorhergehenden Falle, beim Erwärmen werden aber nicht bloß die ſchon vorhandenen ausdehnſamer, ſondern es entſtehen auch neue, bis das Maximum der Spannkraft erreicht iſt. Unter dieſem Maximum befolgen Dünſte auch das Mariotte'ſche Geſetz. Die folgende Tafel gibt das Maximum der Spannkraft des Waſſerdunſtes, ausgedrückt durch die Höhe der Queckſilberſäule, welche der Dunſt zu tragen vermag, auf die Queckſilbertemperatur 0° C. reducirt, von — 20° bis 110° C., wie ſie ſich aus Dalton's Verſuchen mittelſt einer beſonderen von Biot deducirten Formel ergeben.

Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Lin.	Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Lin.	Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Lin.	Temperatur nach C.	Spannkraft in W. Lin.
— 20	0,607	— 5	1,667	10	4,316	25	10,517
19	0,651	4	1,780	11	4,589	26	11,137
18	0,697	3	1,899	12	4,877	27	11,789
17	0,746	2	2,026	13	5,183	28	12,476
16	0,799	1	2,161	14	5,506	29	13,199
15	0,856	0	2,304	15	5,847	30	13,961
14	0,916	+ 1	2,457	16	6,208	35	18,406
13	0,980	2	2,618	17	6,590	40	24,143
12	1,049	3	2,789	18	6,993	50	40,461
11	1,121	4	2,971	19	7,419	60	65,900
10	1,198	5	3,164	20	7,869	70	104,34
9	1,281	6	3,369	21	8,343	80	160,39
8	1,369	7	3,585	22	8,844	90	239,29
7	1,462	8	3,815	23	9,373	100	345,42
6	1,561	9	4,058	24	9,930	110	485,59

Dieſe Spannkräfte kommen aber nur den aus reinem Waſſer entſtandenen Dünſten zu; für Dünſte aus Waſſer, welches Salz oder andere Körper aufgelöſt enthält, fallen ſie geringer aus. (Egen in Pogg. Ann. 27. 9.)

Nach Gay-Luſſac beträgt die Spannkraft der Dünſte aus einer wäſſerigen Kochſalzlöſung von der Dichte 1,096 bei 10° C. nur etwa 0,9, die der aus Schwefelſäure von der Dichte 1,493 entſtandenen nur 0,18 derjenigen Spannkraft, welche den aus reinem Waſſer gebildeten bei derſelben Temperatur zukommt. Nach Prinſep (Zeitſchr. 2. 29) bleibt dieſes Verhältniß für alle Temperaturen gleich.

259. Waſſerdünſte, die ſich in der Luft oder in einer andern gasförmigen Subſtanz bilden, oder derſelben beigemengt werden, vermengen ſich gleichförmig mit ihr, ſo wie ſich ein Gas mit einem andern vermengt (252), verhalten ſich da ſo wie im leeeren Raume und zeigen dieſelbe Spannkraft wie in dieſem. Von letzterem überzeugt man ſich mittelſt eines Barometers, mit dem man, wie in 257 erklärt wurde, verfährt, nur daß man zuerſt in den obern Raum atm. Luft oder ein anderes Gas bringt und den Queckſilberſtand beobachtet, und nachdem man etwas von der Flüſſigkeit, deren Dünſte zu unterſuchen ſind, dazu treten läßt, die Beobachtung wiederholt. Da man auf dieſe Weiſe das Volum und die Spannung der trockenen Luft, und das Volum der Luft ſammt dem Dunſte und die Totalſpannung beider kennt, ſo kann man aus letzterer den Theil, welcher der Luft gehört, mittelſt des Mariotte'ſchen Geſetzes abſcheiden, und der Reſt gibt die Spannkraft des Dunſtes. Viel bequemer iſt es jedoch, letztere Spannkraft unmittelbar zu beobachten. Man bedient ſich dazu des Apparates Fig. 106. Dieſer beſteht aus einem in gleiche Raumtheile getheilten, oben geſchloſſenen, unten mit einer Stahlfaſſung und einem Stahlhahn verſehenen Glasrohre A von etwa 1 Zoll Durchmeſſer, an deſ-

ſen Seite eine engere und längere offene Röhre B angeblaſen iſt. Der ganze Apparat kommt auf ein Geſtell zu ſtehen, ſo daß B einen verticalen Stand hat. Wenn man einen Verſuch machen will, ſo füllt man durch den Hahn das Rohr A halb voll Queckſilber, ſchließt dann den Hahn und ſtellt den Apparat auf ſein Geſtell. Steht das Queckſilber nicht in beiden Schenkeln gleich hoch, ſo erhält man dieſen gleichen Stand durch Zugießen von neuem Queckſilber durch die Röhre B oder durch Ablaſſen mittelſt des Hahnes. Man mißt das Luftvolum im Rohre A. Nun gießt man von der Flüſſigkeit, um deren Dünſte es ſich handelt, etwas in das Rohr B, und ſchafft einen Theil dadurch in das Gefäß A, daß man durch den Hahn ſo viel Queckſilber ablaufen läßt, bis jene Flüſſigkeit unter die Zuſammenfügungsſtelle beider Röhren gekommen iſt. Das abgelaſſene Queckſilber füllt man hierauf wieder durch B ein. Neigt man nun das Rohr A, damit ſeine Wände durch die eingefüllte Flüſſigkeit benetzt werden, ſo bilden ſich die Dünſte raſch und das Queckſilber in A fällt. Iſt es zum Stillſtand gekommen, ſo wird ſo viel Queckſilber durch B nachgefüllt, als nothwendig iſt, um Dunſt und Luft auf das frühere Volum zu bringen, und man mißt hierauf die Höhe der im Rohre B zugeſetzten Queckſilberſäule. Dieſe gibt die Spannkraft des Dunſtes für die beſtehende Temperatur. Man mag dieſe nach der einen oder nach der andern Methode beſtimmen, ſtets findet man ſelbe der Spannkraft, welche der Dunſt bei derſelben Temperatur im luftleeren Raume beſitzt, vollkommen gleich.

Wird ein Gas mit Dunſt im Maximum e der Spannkraft gemengt und ſoll das Gemenge dieſelbe Spannkraft p zeigen, die vorher das iſolirte Gas beſaß, ſo muß deſſen urſprüngliches Volum v vergrößert werden. Die Vergrößerung x läßt ſich leicht finden, wenn man bedenkt, daß das Gas, welches bei dem Volum v die Spannung p beſaß, unter dem Volum $v + x$ nur mehr die Spannung $\frac{vp}{v+x}$ haben kann. Dieſe um e, die Spannkraft des Dunſtes vermehrt, muß die Summe p geben. Somit hat man die Gleichung $\frac{vp}{v+x} + e = p$, woraus $x = \frac{ev}{p-e}$ folgt.

260. Die Dünſte anderer Flüſſigkeiten befolgen dieſelben Geſetze, wie die des Waſſers, aber die Expanſivkraft derſelben weicht von jener der Waſſerdünſte ab, und iſt überhaupt für dieſelbe Temperatur deſto kleiner, je ſchwerer die Flüſſigkeit ſiedet. So z. B. liefert Queckſilber bei der gewöhnlichen Lufttemperatur, wo die Spannkraft der Waſſerdünſte ſchon bedeutend iſt, Dünſte von ſo geringer Spannkraft, daß ſie ſelbſt im Barometer keine merkliche Depreſſion erzeugen, und ſelbſt bei 100° C. iſt dieſe Spannkraft nicht größer als 0,012 W. L. (Pogg. Ann. 27. 60.)

Flüſſigkeiten, deren Siedpunct ſehr tief liegt, geben dagegen Dämpfe von bedeutender Spannkraft. In dieſer Hinſicht iſt der Schwefeläther merkwürdig und daher vorzüglich geeignet, die Geſetze des Gleichgewichtes der Dünſte in Verſuchen mit der Torricelliſchen Röhre (257) anſchaulich zu machen. Auch Schwefelkohlenſtoff liefert Dünſte von großer Spannkraft.

261. Ein wichtiges Problem iſt die Beſtimmung der Dichte des Dunſtes eines gegebenen Stoffes bei feſtgeſetzter Spannkraft und Temperatur. Man gelangt hiedurch zugleich in den Beſitz der Daten zur Beurtheilung der ſpecifiſchen Expanſivkraft dieſes Dunſtes, in Vergleichung mit jener der atmoſphäriſchen Luft oder irgend eines andern bereits unterſuchten gasförmigen Stoffes. Um erwähntes Problem zu löſen, iſt es nothwendig, eine abgewogene Menge dieſes Stoffes in einen geſchloſſenen Raum zu bringen, ihn in Dunſt zu verwandeln und mit Beachtung der herrſchenden Spannkraft und Temperatur, das Volum deſſelben zu beſtimmen. Dahin gelangte Gay-Luſſac für Waſſer durch folgendes Verfahren: Ein kleines hohles Glaskügelchen, das in ein dünnes Röhrchen auslief, wurde im leeren Zuſtande abgewogen, hierauf mit Waſſer gefüllt, zugeſchmolzen, wieder gewogen und ſo das Gewicht des Inhaltes genau gefunden. Dieſes Kügelchen wurde in einen in gleiche Theile getheilten, mit reinem Queckſilber gefüllten Recipienten gebracht und derſelbe erhitzt, bis das Waſſer die Glashülle zerſprengte, wo ſich dann Dunſt bildete, deſſen Volum man meſſen und mit dem eines gleichen Gewichtes einer gleichwarmen Luftmaſſe vergleichen konnte. Bevor dieſes geſchah, mußte der Dunſt nach dem Mariotte'ſchen Geſetze auf den vollen Luftdruck (230) reducirt werden. So fand man, daß Waſſerdunſt bei 100° C. und 0,76 Meter Barometerhöhe 1700mal leichter iſt als Waſſer bei 0° C. Aber die Luft iſt unter genanntem Drucke bei 0° C. 770mal, mithin (nach 231) bei 100° C. 770 (1 + 0,364), d. h. 1050mal leichter als Waſſer; es verhält ſich daher die Dichte des Dunſtes unter genannten Umſtänden zur Dichte der Luft, wie 1050 zu 1700, d. h. nahe wie 0,62 : 1, oder auch wie 1 : 1,6. Nach dem Mariotte'ſchen und Gay-Luſſac'ſchen Geſetze kann man dieſes Reſultat auch auf alle andern Temperaturen und Spannkräfte ausdehnen und daher annehmen, daß überhaupt die Dichte des Waſſerdunſtes $^{10}/_{16}$ von jener der Luft unter denſelben Umſtänden beträgt. Auf ähnliche Weiſe findet man die Dichte des Alkoholdunſtes = 1,60, des Schwefelätherdunſtes = 2,58 u. dgl. Hieraus folgt (246), im Vergleiche mit atm. Luft, die ſpecifiſche Expanſivkraft des Waſſerdunſtes = 1,61, des Alkoholdunſtes = 0,62, des Aetherdunſtes = 0,39.

Zur Beſtimmung der Dichte des Dunſtes eines Stoffes, zumal eines ſolchen, zu deſſen Verflüchtigung eine höhere Temperatur erforderlich iſt, kann man auch in ein ſchickliches Gefäß eine Menge des Stoffes bringen, deren Dunſt einen Raum einnimmt, der den Inhalt des Gefäßes viele Male übertrifft, und nachdem man die Mündung des Gefäßes in eine Spitze ausgezogen hat, dasſelbe ſo lange erhitzen, bis kein Dunſt mehr entweicht, ſodann die Spitze zuſchmelzen. Die im Gefäße enthaltene Luft wurde hiebei ausgetrieben, und der Dunſt hatte die Spannkraft der umgebenden Luft. Die Wägung des mit dem Dunſte, mit Luft und endlich mit Waſſer gefüllten Gefäßes, nebſt Temperatur und Barometerſtand, geben die Daten zur Beſtimmung der Dichte des Dunſtes. So hat man z. B. die Dichte des Schwefeldunſtes = 6,654 gefunden.

262. Man kann auch die Dichte des Dunſtes eines zuſammengeſetzten Stoffes, deſſen Beſtandtheile unter den gewöhnlichen Umſtän-

den gasförmig auftreten, wie dieß gerade bei dem Waſſer der Fall iſt, aus den bekannten Dichten dieſer Beſtandtheile nach der in 245 angegebenen Methode berechnen; auf die Dichte des Dunſtes eines einfachen Stoffes aber entweder durch Umkehrung dieſes Verfahrens aus der Dichte eines Gaſes, wovon er ein Beſtandtheil iſt, oder, mit gehöriger Vorſicht, aus ſeinem Atomgewichte ſchließen.

Nimmt man an, daß durch Verbrennung von 2 Vol. Waſſerſtoffgas in 1 Vol. Sauerſtoffgas 2 Vol. Waſſer gebildet werden, ſo findet man, weil die Dichte des Waſſerſtoffgaſes = 0,0688 und jene des Sauerſtoffgaſes = 1,1026 iſt, in ſofern die Dichte der atm. Luft als Einheit betrachtet wird, die Dichte des Waſſerdunſtes = 1,2402 : 2 = 0,6201, was mit obigem Reſultate nahe übereinſtimmt.

Um die Dichte des Alkohol- oder Aetherdunſtes auf dieſem Wege zu berechnen, muß man vorerſt die Dichte des Kohlendunſtes kennen, d. h. jene, welche der Kohlenſtoff haben würde, wenn er luftförmig erſchiene. Unter der Vorausſetzung, daß 2 Vol. Kohlenoxydgas aus 1 Vol. Sauerſtoffgas und 1 Vol. Kohlendunſt beſtehen, folgt aus der Dichte des Kohlenoxydgaſes = 0,9727 und aus jener des Sauerſtoffes, die Dichte des Kohlendunſtes = 0,8428. Dasſelbe Reſultat erhält man, wenn man annimmt, daß 1 Vol. Kohlendunſt mit 2 Vol. Sauerſtoffgas 2 Vol. Kohlenſäuregas, deſſen Dichte = 1,524 iſt, liefert. Betrachtet man nun 2 Vol. Aetherdunſt als das Reſultat der Verbindung von 4 Vol. Kohlendunſt mit 10 Vol. Waſſerſtoffgas und 1 Vol. Sauerſtoffgas; ferner 2 Vol. Alkohol als hervorgehend aus 2 Vol. Kohlendunſt, 6 Vol. Waſſerſtoffgas und 1 Vol. Sauerſtoffgas, wozu die ſtöchiometriſchen Formeln dieſer Stoffe die Anleitung geben, ſo findet man die Dichte des Aetherdunſtes = 2,5809 und die Dichte des Alkoholdunſtes = 1,6005.

Die Dichte des Kohlendunſtes ergibt ſich unmittelbar aus dem Atomgewichte des Kohlenſtoffes, bezogen auf O = 1, wenn man dasſelbe durch die Dichte des Sauerſtoffgaſes dividirt. In den meiſten Fällen kann man in der That die Dichten einfacher gasförmiger Stoffe ihren Atomgewichten proportional ſetzen, doch geht dieß nicht allgemein an, wie aus den Reſultaten erhellet, zu welchen Dumas und Mitſcherlich geführt wurden; denn es zeigte ſich das Schwefelgas dreimal, das Phosphorgas zweimal dichter als nach dieſer Annahme. Indeſſen ſteht in allen bisher beobachteten Fällen die Dichte eines gasförmigen Grundſtoffes zu ſeinem Atomgewichte in einem einfachen Verhältniſſe.

263. Die atmoſphäriſche Luft enthält ſtets Waſſerdünſte, jedoch nicht jederzeit ſo viel, als ſie davon aufzunehmen vermag. Es zeigt alſo der Barometerſtand nicht bloß den Druck der atm. Luft, ſondern auch jenen des ihr beigemengten Waſſerdunſtes an. Der Dunſtgehalt der Luft ſpielt eine ſehr wichtige Rolle, er veranlaßt viele Erſcheinungen im großen Haushalte unſerer Erde, als: Thau, Reif, Nebel, Wolken, Regen, Schnee, Hagel, die man Waſſermeteore nennt, und welche im dritten Theile dieſes Buches näher unterſucht werden; im Kleinen gibt er ſeine Anweſenheit durch die Veränderungen zu erkennen, denen Stoffe, die eine Neigung zur Aufnahme von Waſſer haben, unterliegen. An dem gegenwärtigen Orte beſchäftigen wir uns bloß mit der Angabe der Mittel zu den quantitativen Beſtimmungen, welche bezüglich des Dunſtgehaltes der Luft in Frage kommen. Die Größen, um welche es ſich hier handelt, reduciren ſich der Hauptſache

nach auf folgende drei: 1) Die Expanſivkraft des in der Luft vorhandenen Waſſerdunſtes; 2) die Menge des Dunſtes, welche ein gegebener Raum enthält; 3) das Verhältniß der wirklich vorhandenen Spannkraft oder Menge des Dunſtes zu dem Maximum der Spannkraft oder Menge, das der herrſchenden Temperatur zufolge obwalten könnte. Man nennt den Exponenten des letzteren Verhältniſſes, nämlich den Quotienten, der aus der Diviſion der vorhandenen Spannkraft oder Menge durch das mögliche Maximum entſpringt, die relative Spannkraft oder Menge, im Gegenſatze mit dem Dividend ſelbſt, der die abſolute Spannkraft oder Menge des Dunſtes heißt. Da der Dunſt in der Luft gerade ſo, wie im leeren Raume beſteht, und unterhalb des Maximums ſeiner Spannkraft den für Gaſe geltenden Geſetzen gehorcht, ſo iſt klar, daß der Ausdruck der relativen Spannkraft zugleich jener der relativen Menge des Dunſtes iſt, alſo zwiſchen dieſen zwei Größen kein Unterſchied obwaltet, und daß, wenn nebſt der Temperatur eine der ſo eben genannten drei Quantitäten bekannt iſt, auch die zwei übrigen als bekannt betrachtet werden dürfen, ſo daß es eigentlich nur auf die Beſtimmung einer einzigen derſelben ankommt.

Bezeichnet man durch e die herrſchende Spannkraft des Dunſtes, ausgedrückt durch die Höhe der äquivalenten Queckſilberſäule; durch t die Temperatur; durch B den Normalbarometerſtand; durch σ das ſpecifiſche Gewicht der Luft auf den Normalbarometerſtand und auf die Temperatur 0° C. bezogen; durch α den Ausdehnungscoefficienten der Luft für 1° C., und durch β die Dichte des Dunſtes im Vergleiche mit jener der Luft bei gleicher Spannkraft und Temperatur, wobei alſo $\alpha = 0{,}00365$ und $\beta = 0{,}6201$ iſt, ſo gibt $\frac{\sigma}{1+\alpha t}$ das ſpecifiſche Gewicht der Luft bei dem Barometerſtande B und bei der Temperatur t an; $\frac{e}{B} \cdot \frac{\sigma}{1+\alpha t}$ iſt das ſpecifiſche Gewicht der Luft bei der Spannkraft e und der Temperatur t, und daher, wenn man das ſpecifiſche Gewicht des mit der Spannkraft e verſehenen Waſſerdunſtes bei dieſer Temperatur s nennt, $s = \frac{\beta e}{B} \cdot \frac{\sigma}{1+\alpha t}$. Man ſieht hieraus, wie man, wenn Spannkraft und Temperatur des Dunſtes gegeben ſind, die Menge des in der Volumseinheit befindlichen Dunſtes, und umgekehrt aus dieſer Menge und aus der Temperatur die Spannkraft finden könne. Bezeichnet endlich für die herrſchende Temperatur, E das Maximum der Spannkraft, S das Maximum des ſpecifiſchen Gewichtes und f die vorhandene relative Spannkraft des Dunſtes, ſo iſt $f = \frac{e}{E}$ und wegen $S = \frac{\beta E}{B} \cdot \frac{\sigma}{1+\alpha t}$ auch $\frac{s}{S} = \frac{e}{E} = f$, wodurch ſich die Einerleiheit der relativen Spannung und Menge des Dunſtes beſtätiget. Aus dem Ganzen erhellet aber, daß wenn nebſt der herrſchenden Temperatur von den drei Größen e, s und f eine bekannt iſt, die Angabe der beiden andern das Reſultat einer einfachen Rechnung iſt, und demnach keiner weiteren Schwierigkeit unterliegt.

264. Körper, welche eine Neigung zur Aufnahme von Waſſer haben, abſorbiren den in der Luft befindlichen Waſſerdunſt, condenſiren ihn und durchziehen ſich in Folge deſſen mit tropfbarem Waſſer, wenn ſie ſich nicht gar mit demſelben chemiſch verbinden. Wir ſchreiben daher der Luft, in ſo fern ſie Waſſerdunſt enthält, Feuchtigkeit zu, und unterſcheiden verſchiedene Abſtufungen des Feuchtigkeitszuſtandes der Luft, nach Maßgabe der Leichtigkeit, womit Körper, die ein Beſtreben zeigen feucht zu werden, aus der Luft Waſſer erhalten. Es iſt Sache der Wiſſenſchaft, ſolchen ſich uns im gemeinen Leben aufdringenden Begriffen quantitativer Beziehungen die gehörige Präciſion zu geben, und die denſelben zum Grunde liegenden Größen auf ein ſchickliches Maß zurückzuführen. Ein Körper, der das in der Luft im ausdehnſamen Zuſtande vorhandene Waſſer zur Aenderung ſeiner Aggregationsform zu nöthigen vermag, bringt offenbar durch die Kräfte, welche ſeine Theilchen auf die Dunſttheilchen ausüben, dieſe einander ſo nahe, daß die ausdehnſame Form nicht fortbeſtehen kann. Das dieſem Effecte entgegenſtehende Hinderniß, nämlich die zwiſchen den Dunſttheilchen waltende abſtoßende Kraft, iſt ohne Zweifel um ſo leichter zu überwinden, je näher der Dunſt in der Luft bereits jener Dichte ſteht, bei welcher er ſeine ausdehnſame Form einbüßt; denn da bedarf es nur einer geringen Condenſation, um einen Theil deſſelben in den tropfbaren Zuſtand überzuführen. Bei gleicher Temperatur wird daher die Größe, welche man Feuchtigkeitsgrad der Luft nennen mag, zunehmen, wenn die Menge und mit ihr die Spannkraft des in der Luft enthaltenen Dunſtes wächſt, und es erſcheint am natürlichſten, den Feuchtigkeitsgrad bei conſtanter Temperatur der Menge oder Spannkraft des Dunſtes proportional zu ſetzen. Bei verſchiedenen Temperaturen hingegen wird dieß nicht genügen, denn mit der Temperatur ſteigt auch das Maximum des Dunſtgehaltes der Luft, und es kann die Condenſation des Dunſtes in einem Falle ſchwieriger werden, wenn gleich in demſelben Raume mehr Dunſt vorhanden iſt, als in einem andern Falle, wo eine niedrigere Temperatur herrſcht, und daher der Condenſationspunct minder ferne liegt. Das einfachſte und plauſibelſte Maß des Feuchtigkeitsgrades ergibt ſich unſtreitig durch die Annahme, daß derſelbe dem Quotienten proportional ſey, aus der herrſchenden Spannkraft des Dunſtes, getheilt durch die größtmögliche, d. h. daß er mit derjenigen Größe, welche oben relative Spannkraft oder Menge des Dunſtes genannt wurde, in geradem Verhältniſſe ſtehe. Dieſe Annahme wird insbeſondere dadurch unterſtützt, daß ſich kein Grund zeigt, zwiſchen dem Feuchtigkeitszuſtande der Luft, welcher dem größtmöglichen Dunſtgehalte entſpricht, bezüglich verſchiedener Temperaturen, einen Unterſchied zu machen. Man könnte ſogar den Feuchtigkeitsgrad der relativen Spannkraft des Dunſtes gleich ſtellen, wobei die größte Feuchtigkeit durch die Einheit, und jede andere durch einen echten Bruch ausgedrückt würde; da es jedoch bei dem practiſchen Gebrauche bequem iſt, bloß mit ganzen Zahlen zu thun zu haben, ſo wird das Maximum der Feuchtigkeit lieber mit 100 bezeich-

net und der Feuchtigkeitsgrad der Luft dadurch angegeben, daß man anzeigt, wie viele Procente des der herrſchenden Temperatur zugehörenden Maximums der Spannkraft oder Menge des Dunſtes wirklich vorhanden ſind. Nennt man den ſo beſtimmten Feuchtigkeitsgrad F, ſo iſt alſo, wenn die obige Bezeichnung beibehalten wird,

$$F = 100 f = \frac{100 e}{E}.$$

265. Jedes Inſtrument, welches eine auf den Dunſtgehalt ſich beziehende Größe angibt, kann dem oben Geſagten zu Folge zur Beſtimmung des Feuchtigkeitsgrades der Luft dienen, und heißt darum ein Hygrometer. Es laſſen ſich daher im Allgemeinen auch drei verſchiedene Gattungen von Hygrometern denken, je nachdem die unmittelbare Anzeige des Inſtrumentes entweder die abſolute Expanſivkraft des Dunſtes, oder deſſen abſolute Menge, oder den Feuchtigkeitsgrad ſelbſt betrifft. Sicherheit der Angabe und Bequemlichkeit des Gebrauches vereinigen unter den bis jetzt bekannten Hygrometern bloß jene der erſten Gattung in ſich, wovon man mehrere Arten hat, daher wir vor Allem auf dieſe unſer Augenmerk richten.

266. Man kann die abſolute Expanſivkraft des zu einer gegebenen Zeit in freier Luft oder in irgend einem Locale vorhandenen Waſſerdunſtes mit großer Genauigkeit mittelſt eines Verfahrens beſtimmen, deſſen näherer Erklärung folgende Betrachtung als Einleitung dienen mag: Man denke ſich in den Raum, worin die hinſichtlich ihrer Spannkraft zu unterſuchenden Dünſte ſich befinden, einen Körper gebracht, deſſen Dimenſionen gegen jene des Raumes als unmerklich klein betrachtet werden dürfen, und deſſen Temperatur man durch irgend eine Veranſtaltung ſtufenweiſe zu erniedrigen im Stande ſey. Wird nun der Körper kälter, ſo werden es auch die ihn berührenden Dünſte, und da die Theilchen des Dunſtes in der Luft, unabhängig von dieſer, auf einander wirken und nach Gleichgewicht ſtreben, ſo wird der Verluſt an Spannkraft, den der Dnnſt in Folge der Abkühlung erleidet, und die dadurch entſtehende Störung des Gleichgewichtes, durch den Umſtand compenſirt, daß die kälteren Dunſttheilchen wegen des von der übrigen Dunſtmaſſe herrührenden Druckes näher an einander gedrängt, d. i. verdichtet werden, dadurch einander ſtärker abſtoßen und daher wieder in den Stand kommen, der Expanſivkraft der angrenzenden Dunſttheile das Gleichgewicht zu halten. Wäre das Volum der Dunſtmenge, auf welche ſich der erkältende Einfluß des Körpers erſtreckt, ein namhafter Theil des geſammten Raumes, ſo zöge der ſo eben betrachtete Vorgang eine Aenderung der urſprünglich vorhandenen Expanſivkraft des geſammten Dunſtes nach ſich; allein unter der Vorausſetzung, welche wir bezüglich der Größe des erkalteten Körpers gemacht haben, darf man wohl annehmen, daß die Temperaturänderung nur in einer kleinen Diſtanz vom Körper fühlbar ſey, und die daſelbſt eintretende Verſchiebung der Dunſtpartikel im übrigen Raume keine wahrnehmbare Aenderung der Dichte des Dunſtes verurſache. Es behält demnach die Spannkraft des mit dem Körper in unmittelbarer

Berührung ſtehenden Dunſtes während der Abkühlung ſtets dieſelbe Größe bei, welche ſie früher hatte. Da jedoch die Spannkraft des Dunſtes ein gewiſſes, von der Temperatur abhängendes Maximum nicht überſchreiten kann, ſo hört die Möglichkeit des Beſtehens der Dunſtform auf, ſobald die Temperatur eines mit ihm in Berührung ſtehenden Körpers ſo weit herabſinkt, daß das nunmehr mögliche Maximum kleiner iſt, als die Spannkraft, welche der Dunſt nothwendig haben muß, um der übrigen Dunſtmaſſe das Gleichgewicht zu halten: der mit dem Körper in Berührung kommende Dunſt geht daher in dieſem Falle in den tropfbarflüſſigen Zuſtand über, und erſcheint am Körper als ein wäſſeriger Ueberzug, ähnlich dem Thau, und kann bei ſehr niedriger Temperatur ſogar gefrieren, d. h. einen ſogenannten Reif bilden. Aus dem Geſagten ergibt ſich die für die Hygrometrie höchſt wichtige Folgerung, daß wenn man die Temperatur kennt, bei welcher der in einem hinreichend weiten Raume vorhandene Dunſt während der ſucceſſiven Abkühlung eines kleinen Körpers ſeine expanſible Form zu verlaſſen beginnt (ſo daß er bei jeder vorangehenden, nämlich höheren, Temperatur noch in vollem Beſitze der Ausdehnſamkeit iſt), man nur das dieſer Temperatur entſprechende Maximum der Spannkraft des Dunſtes aufzuſuchen braucht, um damit zugleich die Expanſivkraft zu erhalten, die dem wirklich vorhandenen Dunſte eigen iſt. Man nennt die Temperatur, bei welcher der Uebergang des Dunſtes in tropfbare Flüſſigkeit erfolgt, die **Bethauungstemperatur**, auch den **Thaupunct** des Dunſtes. Daher gilt der Satz: Die abſolute Spannkraft des Dunſtes iſt zugleich das ſeiner Bethauungstemperatur entſprechende Spannkrafts-Maximum, vorausgeſetzt, daß die Erkältung nur einen unmerklichen Theil des Dunſtes trifft.

Der hier entwickelte theoretiſche Gedanke läßt ſich auf die leichteſte und ſicherſte Weiſe dadurch ins Werk ſetzen, daß man die Kugel eines Thermometers als den zu erkältenden Körper wählt. Man überwickelt dieſelbe zu dieſem Zwecke mit Muſſelin und bedeckt deren untere Hälfte mit einem vergoldeten polirten, gut anſchließenden Schälchen von ſehr dünnem Meſſing- oder beſſer Silberbleche. Benetzt man die Muſſelindecke mit einigen Tropfen Schwefeläther, ſo entzieht dieſer bei ſeinem raſchen Verdünſten der Thermometerkugel Wärme, das Schälchen wird abgekühlt, und die polirte Metallfläche, auf welcher der leiſeſte Hauchanflug leicht wahrzunehmen iſt, zeigt ſich bald durch eine Thaulage getrübt. Der Queckſilberſtand des Thermometers im Augenblicke, wo dieſe Trübung erſcheint, gibt den Thaupunct an. Nimmt man die genannter Temperatur correſpondirende Zahl aus der Tafel (258), ſo hat man das Maß der Spannkraft der das Thermometer umgebenden Dünſte. Dieſes Inſtrument, welches man das **Schwefelätherhygrometer** nennt, wurde von **Körner** als Vereinfachung einer von **Daniell** erdachten, auf dasſelbe Princip ſich gründenden, zwar höchſt ſinnreichen, aber complicirten und ſchwieriger anzufertigenden Vorrichtung angegeben.

Daniell's Hygrometer iſt in Fig. 107 abgebildet. A iſt eine gläſerne oder metallene, fein polirte und luftdichte Kugel, die etwas Schwefeläther und die Kugel eines empfindlichen Thermometers enthält, und mittelſt der Röhre B mit einer zweiten ähnlichen Kugel C verbunden iſt, welche von außen mit feinem Muſſelin umwickelt worden. Beide Kugeln ſammt der Röhre B ſind luftleer und enthalten nur Aether. Wird durch die Wärme der Hand aller Aether in die Kugel A getrieben, und hierauf C von außen mit Aether befeuchtet, ſo verurſacht die durch das Verdünſten entſtandene Kälte eine Verdichtung des inwendigen Aetherdunſtes, mithin eine neue Verdünſtung in A und dadurch ein Sinken des Thermometers. Sobald A ſo weit erkältet iſt, daß ſich an der Kugel rings um die Oberfläche des Aethers ein ſchmaler Thauring bildet, beobachtet man das Thermometer in A, und findet für ſeine Anzeige in Dalton's Tafel die Expanſivkraft des Dunſtes. Was hier Daniell durch das Benetzen der Kugel C, das bringt Döbereiner dadurch hervor, daß er Luftblaſen durch den Aether leitet. (Gilb. Ann. 70. 135.) Die erſte Idee der Benützung der Beſtimmung des Thaupunctes zu hygrometriſchem Zwecke hatte ſchon Le Roy um die Mitte des vorigen Jahrhunderts; allein erſt Dalton nahm ſie wieder auf, und betrachtete ſie aus dem wahren Geſichtspuncte. Er nahm ein Cylinderglas mit dünnen Wänden, füllte es mit einer Maſſe, welche das Glas und mittelſt deſſen auch die daſſelbe umgebende Luft ſo weit abzukühlen vermochte, daß ſich ein feiner Thau an den Wänden anzuſetzen begann, zum Zeichen, daß der Sättigungspunct eingetreten, oder eigentlich ſchon ein wenig überſchritten ſey. Als erkältende Maſſe diente im Sommer kaltes Waſſer, im Winter eine eigene Miſchung. Während der Erkältung wurde die Temperatur des Glaſes beobachtet, und diejenige beſonders bemerkt, bei welcher das Beſchlagen der Wände eintrat. Doch geſtattet dieſes Verfahren begreiflicher Weiſe keine große Genauigkeit. Noch muß hier des von Belli angegebenen Apparates zur Beſtimmung des Thaupunctes gedacht werden (ſ. deſſen Corso elementare di Fisica sperimentale. Vol. II. Milano 1831. S. 513 u. f.). Dieſer beſteht aus einem an der äußeren Fläche wohl polirten Rohre von Eiſen, deſſen Ende in Eis oder in eine erkältende Miſchung geſtellt wird, die, um lange eine niedrige Temperatur zu behalten, ſich in einem doppelten Gehäuſe befindet. Das Rohr erhält hiedurch an verſchiedenen Stellen eine verſchiedene Temperatur; dieſe iſt am untern Ende am niedrigſten und nimmt nach oben hin allmälig zu. Der untere Theil der polirten Metallfläche bekleidet ſich in Folge deſſen mit Thau bis zu der Stelle, welche gerade die Temperatur hat, der die Spannkraft der Dünſte in der Luft als Maximum entſpricht. Um dieſe Temperatur zu erfahren, wird in das vorläufig mit Queckſilber gefüllte Rohr ein empfindliches Thermometer ſo weit eingeſenkt, daß deſſen Kugel bis zur Grenze zwiſchen dem bethauten und blanken Theile des Rohres reicht, was man durch den Stand zweier mit der Faſſung des Thermometers verbundenen, außerhalb des Rohres herabreichenden Stäbchen erkennt, deren Enden mit dem Mittelpuncte der Kugel gleiche Lage haben.

267. Ein zweites hygrometriſches Verfahren gründet ſich auf folgende Betrachtung: Die Dunſtbildung iſt, wie bereits oben erwähnt wurde, und am gehörigen Orte näher gezeigt werden ſoll, mit einer gewiſſen Conſumtion von Wärme verbunden, welche die in den ausdehnſamen Zuſtand übergehenden Theilchen ihrer nächſten Umgebung entziehen. Befindet ſich daher eine tropfbare Flüſſigkeit in einem Raume,

der mit ihrem Dunſte noch nicht geſättiget iſt, und eine ſolche Größe hat, daß die Spannkraft des in ihm vorhandenen Dunſtes durch das Dunſtquantum, welches die Flüſſigkeit zu liefern vermag, nicht merklich geändert wird, ſo kommt die Verdünſtung dadurch, daß ſich bald zwiſchen dem Zufluß und dem Verbrauche der Wärme eine Art Gleichgewicht herſtellt, in einen gleichförmigen Gang, und es nimmt die Oberfläche der Flüſſigkeit eine Temperatur an, die niedriger iſt, als jene der Luft, und von dieſer, von der Dichte der Luft und von der Spannkraft des ihr beigemengten Dunſtes nach bekannten Geſetzen abhängt. Man nennt dieſe Temperatur die Verdünſtungskälte, auch wohl die Naßkälte. Kennt man alſo die Temperatur der Luft, den Barometerſtand und die ſtationäre Temperatur einer verdünſtenden Waſſerſchichte, ſo läßt ſich daraus die Expanſivkraft des in der Luft vorhandenen Dunſtes berechnen. Dieſer bereits von Hutton angegebene hygrometriſche Weg iſt von Auguſt zur Conſtruction eines Apparates benützt worden, der das Pſychrometer (Naßkältemeſſer), häufig auch das Thermohygrometer genannt wird. Es beſteht dieſes Inſtrument aus einer Zuſammenſtellung zweier empfindlichen, wohl correſpondirenden Thermometer, deren eines die Temperatur der Luft, das andere die Verdünſtungstemperatur anzeigt. Zu dieſem Zwecke iſt die Kugel des letzteren mit Muſſelin bekleidet, der in einen Fortſatz ausläuft; dieſer taucht in ein Schälchen mit Waſſer und führt ſelbes durch Capillarität der Kugel zu, die ſonach fortwährend naß erhalten wird. Bedeutet t die Temperatur des befeuchteten, t + d jene des trockenen Thermometers, mithin d den Temperaturunterſchied beider Thermometer, b den Barometerſtand, M das Maximum der Spannkraft des Dunſtes für die Temperatur t, und e die zu ſuchende Spannkraft des Dunſtes in der Luft, ſo iſt für die hundertheilige Thermometerſcale mit einer für die Praxis völlig hinreichenden Genauigkeit

$$e = M - 0{,}0008\,bd \;.\;.\;.\; (1).$$

Man kann das Pſychrometer ſogar bei Temperaturen unter 0° C. in Anwendung bringen, wo die Kugel des die Verdünſtungstemperatur anzeigenden Thermometers mit einer Eisrinde überzogen iſt. In dieſem Falle hat man ſich jedoch der Formel

$$e = M - 0{,}0007\,bd \;.\;.\;.\; (1)$$

zu bedienen. Es iſt bei dem Gebrauche des Pſychrometers mit Anwendung dieſer beiden Formeln nicht außer Acht zu laſſen, daß das Inſtrument einem hinreichenden Luftwechſel ausgeſetzt ſey, durch welchen die von der benetzten Kugel ausgehenden Dünſte abgeführt werden, und es hat eine weitere Verſtärkung des Luftzuges auf die Angaben des Inſtrumentes keinen merklichen Einfluß. In einem geſchloſſenen Locale fächelt man demſelben mit einem Papierblatte Luft zu.

268. Sollen Pſychrometerbeobachtungen nur einigermaßen brauchbare Reſultate geben, ſo müſſen die Thermometer geſtatten, unmittelbar $^1/_{10}$ Grad abzuleſen. Die Spannkraft des Waſſerdunſtes läßt ſich auch für ſolche genauere Temperaturangaben leicht aus der Tabelle (258) entnehmen, wenn man innerhalb eines Grades die Aenderungen

der Spannkräfte den Aenderungen der Temperatur proportional ſetzt. Nachſtehende Tabelle, welche die am häufigſten vorkommenden Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale umfaßt und die Spannkräfte von Zehntel- zu Zehntelgraden in Wiener Linien angibt, überhebt der Mühe der Rechnung.

	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
— 10°	1,20	1,21	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,26	1,27
— 9°	1,28	1,29	1,30	1,31	1,32	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36
— 8°	1,37	1,38	1,39	1,40	1,41	1,42	1,42	1,43	1,44	1,45
— 7°	1,46	1,47	1,48	1,49	1,50	1,51	1,52	1,53	1,54	1,55
— 6°	1,56	1,57	1,58	1,59	1,60	1,61	1,62	1,63	1,65	1,66
— 5°	1,67	1,68	1,69	1,70	1,71	1,72	1,73	1,75	1,76	1,77
— 4°	1,78	1,79	1,80	1,82	1,83	1,84	1,85	1,86	1,88	1,89
— 3°	1,90	1,91	1,92	1.94	1,95	1,96	1,98	1,99	2,00	2,01
— 2°	2,03	2,04	2,05	2,07	2,08	2,09	2,11	2,12	2,13	2,15
— 1°	2,16	2,18	2,19	2,20	2,22	2,23	2,25	2,26	2,28	2,29
0°	2,30	2,32	2,33	2,35	2,37	2,38	2,40	2,41	2,43	2,44
+ 1°	2,46	2,47	2,49	2,51	2,52	2,54	2,55	2,57	2,59	2,60
+ 2°	2,62	2,64	2,65	2,67	2,69	2,70	2,72	2,74	2,75	2,77
+ 3°	2,79	2,81	2,83	2,84	2,86	2,88	2,90	2,92	2,93	2,95
+ 4°	2,97	2,99	3,01	3,03	3,05	3,06	3,09	3,10	3,13	3,14
+ 5°	3,16	3,18	3,21	3,23	3,25	3,27	3,29	3,31	3,33	3,35
+ 6°	3,37	3,39	3,41	3,43	3,46	3,48	3,50	3,52	3,54	3,56
+ 7°	3,59	3,61	3,63	3,65	3,68	3,70	3,72	3,75	3,77	3,79
+ 8°	3,81	3,84	3,86	3,89	3,91	3,94	3,96	3,99	4,01	4,03
+ 9°	4,06	4,08	4,11	4,14	4,16	4,19	4,21	4,24	4,26	4,29
+ 10°	4,32	4,34	4,37	4,40	4,43	4,45	4,48	4,51	4,53	4,56
+ 11°	4,59	4,62	4,65	4,67	4,70	4,73	4,76	4,79	4,82	4,85
+ 12°	4,88	4,91	4,94	4,97	5,00	5,03	5,06	5,09	5,12	5,15
+ 13°	5,18	5,22	5,25	5,28	5,31	5,34	5,38	5,41	5,44	5,47
+ 14°	5,51	5,54	5,57	5,61	5,64	5,68	5,71	5,74	5,78	5,81
+ 15°	5,85	5,88	5,92	5,96	5,99	6,03	6,06	6,10	6,14	6,17
+ 16°	6,21	6,25	6,28	6,32	6,36	6,40	6,44	6,48	6,51	6,55
+ 17°	6,59	6,63	6,67	6,71	6,75	6,79	6,83	6,87	6,91	6,95
+ 18°	6,99	7,04	7,08	7,12	7,16	7,21	7,25	7,29	7,33	7,38
+ 19°	7,42	7,46	7,51	7,55	7,60	7,64	7,69	7,73	7,78	7,82
+ 20°	7,87	7,92	7,96	8,01	8,06	8,11	8,15	8,20	8,25	8,30
+ 21°	8,34	8,39	8,44	8,49	8,54	8,59	8,64	8,69	8,74	8,79
+ 22°	8,84	8,90	8,95	9,00	9,06	9,11	9,16	9,21	9,27	9,32
+ 23°	9,37	9,43	9,48	9,54	9,60	9,65	9,71	9,76	9,82	9,87
+ 24°	9,93	9,99	10,05	10,11	10,16	10,22	10,28	10,34	10,40	10,46
+ 25°	10,52	10,58	10,64	10,70	10,76	10,83	10.89	10,95	11,01	11,07
+ 26°	11,14	11,20	11,27	11,33	11,40	11,46	11,53	11,59	11,66	11,72
+ 27°	11,79	11,86	11,93	12,00	12,06	12,13	12,20	12,27	12,34	12,41
+ 28°	12,48	12,55	12,62	12,69	12,77	12,84	12,91	12,98	13,05	13,13
+ 29°	13,20	13,28	13,35	13,43	13,50	13,58	13,66	13,73	13,81	13,88

Um den Gebrauch dieſer Tabelle und die Uebereinſtimmung des Pſychrometers mit dem Thermohygrometer an einem Beiſpiele zu zeigen, mag irgend eine der zahlreichen, durch Sorgfalt ausgezeichneten Beobachtungen dienen, welche der öſterreichiſche Aſtronom Ritt. v. Bürg im Jahre 1827 angeſtellt hat (Zeitſchr. 4, 54; 5, 301). Am 24. Auguſt des genannten Jahres zeigte das trockene Thermometer nach Réaumur 12°,96, das befeuchtete 8°,87, und die Bethauung des Schwefeläther-hygrometers fand bei 4°,68 Statt. Der Barometerſtand war 27,873 engl. Zoll. Die Hundertel der Thermometergrade ergaben ſich dadurch, daß aus mehreren Beobachtungen das Mittel berechnet wurde. Reducirt man dieſe Daten auf die hunderttheilige Thermometerſcale und auf Wiener Maß, ſo hat man für die Temperatur des trockenen Thermometers 16°,2, des befeuchteten 11°,09, des bethauten 5°,85, endlich für den Barometerſtand 26,876 Zoll oder 322,51 Lin. Die pſychrometriſche Differenz iſt hier 5°,11, demnach gibt die Formel (1)

$$e = 4{,}62 - 1{,}32 = 3{,}30.$$

Dieſer Spannkraft entſpricht in der Tabelle die Temperatur 5°,75, ſo daß zwiſchen dem aus der Pſychrometerbeobachtung abgeleiteten und dem wirklich beobachteten Thaupuncte nur eine Differenz von $\frac{1^\circ}{10}$ ſich darſtellt. Der Feuchtigkeitsgrad der Luft war demgemäß zur Zeit der Beobachtung $\frac{33400}{628} = 53$. Das Gewicht des Waſſerdunſtes in einem Wiener Kub. Fuß war (nach 263)

$$= \frac{0{,}62 \times 3{,}3 \times 564}{346{,}2\ (1 + 0{,}00365 \times 16{,}2)} = \frac{1153{,}9}{366{,}7} = 3{,}15 \text{ W. Gran.}$$

Das Pſychrometer entſpricht in Hinſicht auf Bequemlichkeit des Gebrauches und Verläßlichkeit ſeiner Angaben allen Forderungen, die man an ein Hygrometer machen kann. Durch den Umſtand, daß es die zur Beurtheilung des Feuchtigkeitszuſtandes der Luft nöthigen Daten, ohne weitere Vorbereitung als die Füllung des Hilfsgefäßes mit etwas Waſſer, und wenn dieß einmal geſchehen iſt, für lange Zeit in jedem Momente auf einen Blick liefert, hat es vor dem Schwefelätherhygrometer einen bedeutenden Vortheil voraus, denn mit dieſem iſt ſtets ein Verſuch zu machen, mit deſſen Handgriffen man vertraut ſeyn und deſſen Ergebniß man mit Schnelligkeit aufzufaſſen wiſſen muß, wozu Uebung gehört, die nicht Jedermanns Sache iſt. Zur genauen Feuchtigkeitsbeſtimmung wird zwar nebſt der Pſychrometerangabe noch die Kenntniß des Barometerſtandes erfordert; für den gewöhnlichen Gebrauch darf man jedoch dieſe bei Seite ſetzen und ſich mit der Annahme des mittleren Barometerſtandes begnügen, und kann dem ungeachtet der Wahrheit befriedigend nahe Reſultate erwarten. Setzt man für Wien den Barometerſtand 340 Lin., ſo erhält man für das befeuchtete Thermohygrometer

$$e = M - 0{,}27\,d,$$

und wenn deſſen Kugel mit Eis überzogen iſt,

$$e = M - 0{,}22\,d.$$

269. Die Hygrometer der **zweiten** Gattung gründen ſich auf die Beſtimmung der Gewichtszunahme eines den Waſſerdunſt in einem gegebenen Raume vollſtändig abſorbirenden Körpers; ſie geben bei ſorgfältigem Verfahren genaue Reſultate, ſind aber in den meiſten Fällen zu umſtändlich.

Die geeignetſte Subſtanz zu dieſem Zwecke ſcheint Schwefelſäure zu ſeyn (Brunner in Pogg. Ann. 20, 274). Man verwendet ſie auf ähnliche

Art, wie den Phosphor in dem Brunner'ſchen Eudiometer (87). Auch Chlorcalcium läßt ſich gebrauchen; minder anwendbar ſind Körper, an die ſich Feuchtigkeit bloß abſetzt, ſelbſt wenn dieß geſchieht, ehe ſie bis zum Thaupuncte abgekühlt worden, z. B. Glas, Thonſchiefer, weil die Ablagerung des atm. Waſſers doch nicht vollſtändig erfolgt.

270. Die Möglichkeit eines Hygrometers der dritten Gattung ſetzt voraus, daß uns Körper zu Gebote ſtehen, welche durch die abſorbirten Dünſte eine dem Feuchtigkeitsgrade der Luft entſprechende Veränderung der Geſtalt erleiden. Man hat zwar bis jetzt eine große Anzahl von Subſtanzen, die durch Aenderungen des Feuchtigkeitszuſtandes der Luft afficirt werden, und deßhalb hygroſkopiſche Subſtanzen heißen, in Anwendung zu bringen geſucht; allein aller Empfehlungen ungeachtet, und obgleich ſich mehrere derſelben durch eine in der That merkwürdige Empfindlichkeit für ſehr geringe Aenderungen der Luftfeuchtigkeit auszeichnen, iſt es noch nicht gelungen, mit einer derſelben ein Inſtrument zu Stande zu bringen, das in Hinſicht auf Bequemlichkeit und Verläßlichkeit der Indication dem Pſychrometer nur einigermaßen vergleichbar wäre. Denn nicht bloß zwei gleichartige, d. h. auf dieſelbe hygroſkopiſche Subſtanz baſirte Inſtrumente ſtimmen in ihren Angaben nicht überein, ſondern auch die Anzeigen eines und deſſelben Exemplars bleiben nicht conſtant, ſondern ändern ſich mit der Zeit, ſo daß es unter ganz gleichen Umſtänden einen verſchiedenen Stand ausweiſet, und daher eine einmal gemachte Wahrnehmung ſich nicht mit Sicherheit wieder erkennen läßt. Dieſe Mängel ſind erſt, ſeitdem man an dem Schwefelätherhygrometer und Pſychrometer verläßliche hygrometriſche Apparate beſitzt, recht in das Licht getreten, und rauben ſelbſt den am meiſten in Anſehen geweſenen früheren Hygrometern faſt allen wiſſenſchaftlichen Werth, des Umſtandes nicht zu gedenken, daß die Indicationen ſolcher Inſtrumente nicht ſo eingeleitet werden können, daß ſie als Feuchtigkeitsgrade in dem oben aufgeſtellten Sinne erſcheinen, oder damit in einem erkennbaren Zuſammenhange ſtehen.

Als vorzügliche hygroſkopiſche Subſtanzen ſind zu betrachten: Haare, Fiſchbein, Knochen, Federkiele, die innere Haut des Schilfrohres; Blaſen von Ratten, Eichhörnchen, Fiſchen; Darmſaiten, Hanffäden; Grannen vom Rauhhaber, von Erodiumarten und von andern Samen; Holz, Papier u. dgl. Unter den Hygrometern dieſer Art hat das Haarhygrometer die meiſte Berühmtheit erlangt, vornehmlich wegen dem muſterhaften Fleiße, den Sauſſure auf das Studium dieſes Inſtrumentes verwendete. Es beſteht aus einem durch Kochen in ſchwacher Natrumlauge, Abwaſchen mit reinem Waſſer und Abtrocknen zubereiteten Haare vom Kopfe eines lebenden geſunden Menſchen, das an einem Ende unbeweglich in eine Zange befeſtigt, am andern Ende aber an dem Umfange einer frei um ihre Axe beweglichen Rolle herumgelegt iſt und durch ein Gewichtchen geſpannt erhalten wird, ſo daß ſich die Rolle, wenn das Haar, wie es bei Zunahme der Feuchtigkeit der Luft geſchieht, ſich verlängert, und wenn es in mehr trockener Luft ſich verkürzt, in entgegengeſetztem Sinne gedreht wird. Da die Aenderung der Länge des Haares bei verändertem Feuchtigkeitszuſtande der Luft immer nur ſehr gering iſt, ſo macht man ſie dadurch merklicher, daß

man an der Rolle einen Zeiger anbringt, der über einem Kreisbogen ſpielt und auf demſelben bei der kleinſten Längenänderung des Haares um ein Merkliches weiter rückt (Fig. 108). Dieſer Bogen enthält die Hygrometerſcale, deren äußerſte Puncte dem Stande des Zeigers bei der größten Trockenheit und Feuchtigkeit entſprechen. Um den Punct der größten Feuchtigkeit zu beſtimmen, wird der Apparat in einen, inwendig mit Waſſer befeuchteten und auch mit Waſſer geſperrten Glasrecipienten gebracht und ſo lange darin gelaſſen, bis ſich das Haar nicht mehr verlängert. Zur Beſtimmung des Punctes der größten Trockenheit wird er in eine gut abgetrocknete Glasglocke gebracht, nahe an ihm ein heißes, cylindriſch gebogenes, mit geglühter Pottaſche überzogenes Eiſenblech geſtellt, alles luftdicht geſperrt und in dieſem Raume ſo lange gelaſſen, bis ſich das Haar ſelbſt dann nicht mehr verkürzt, wenn man die Temperatur erhöht. Der Punct der größten Trockenheit wird mit 0, jener der größten Feuchtigkeit mit 100 bezeichnet, und der Zwiſchenraum in 100 gleiche Theile getheilt. Allein die ſo erhaltenen Grade ſind, wie Vergleichungen mit beiden im Vorhergehenden angegebenen guten Hygrometern gelehrt haben, keine Feuchtigkeitsgrade, ſtehen auch zu dieſen, weil jedes Haar ſich anders gegen Feuchtigkeit verhält, in keiner für alle Inſtrumente gleichen Beziehung, ja nicht einmal die Vorausſetzung, daß dasſelbe Inſtrument unter gleichen Umſtänden eine gleiche Haarlänge, folglich denſelben Grad darbiete, iſt für einen längeren Zeitraum richtig. Es ſtirbt nämlich ein Haar wie jede andere organiſche Subſtanz mit der Zeit ab, wird für den Waſſerdunſt immer unempfindlicher, die beiden Fundamentalpuncte rücken einander fortwährend näher, und fallen zuletzt zuſammen. Daß man die Haare einer tauſendjährigen Mumie noch empfindlich und zum hygrometriſchen Gebrauche geeignet gefunden hat, beweiſet nicht, daß ausgelaugte und im hygrometriſchen Gebrauche befindliche Haare unverändert ausdauern, worauf es doch allein ankommt; nicht ausgelaugte, d. h. mit Fett noch verſehene Haare ſind aber, wie von ſelbſt erhellet, zu Hygrometern durchaus nicht verwendbar.

Nebſt dem ſo eben beſchriebenen Hygrometer hat auch noch das Deluc'ſche wenigſtens einen hiſtoriſchen Werth. Es iſt dem Sauſſure'ſchen im Baue ähnlich, nur iſt es kleiner und hat ſtatt des Haares einen dünnen Streifen quer über die Faſern geſchnittenen Fiſchbeines. Der Punct der größten Trockenheit wird wie beim Haarhygrometer beſtimmt, der Punct der größten Feuchtigkeit hingegen durch Einſenken des ganzes Fiſchbeines in Waſſer. Die Scale wird wie in Sauſſure's Hygrometer eingetheilt und bezeichnet. Sehr wenig Empfehlendes läßt ſich von dem ſchon im ſiebzehnten Jahrhunderte von Molineux beſchriebenen Darmſaitenhygrometer ſagen, womit ſich ſpäter Sturm und Lambert beſchäftigt haben; ein Gleiches gilt von den thermometerähnlichen Vorrichtungen, in welchen der Behälter für das Queckſilber durch einen Federkiel (Chiminello's Hygrometer) oder durch eine Rattenblaſe (Wilſon's Hygrometer) gebildet wird. Sehr artige hygroſkopiſche Erſcheinungen gewährt, ihrer Empfindlichkeit wegen, die Granne der Samenhülle des gemeinen wildwachſenden Erodium cicutarium (Reiherſchnabel). Ueber Hygrometer ſiehe: Lambert's Hygrometrie. Augsb. 1774. Sauſſure's Hygrometrie; aus dem Franzöſiſchen. Leipzig, 1784. *Enumeratio atque descriptio hygrometrorum etc. auctore G. Hopf. Gottingae* 1830. Gehler's Wörterbuch, neue Aufl. 5. Bd. 1. Abth. Artikel Hygrometer.

Dritter Abſchnitt.

Bewegung der Körper (Dynamik).

Erſtes Kapitel.

Allgemeine Bewegungsgeſetze, die der feſten Körper insbeſondere.

A. Zuſammenſetzung und Zerlegung der Bewegungen.

271. Es beſchreibe ein ſich bewegender Punct die Bahn AN Fig. 109, von welcher wir hier, um einen einfacheren Fall vor Augen zu haben, vorausſetzen, daß ſämmtliche Puncte derſelben in die nämliche Ebene fallen. Nimmt man in dieſer Ebene nach Belieben zwei einander durchſchneidende gerade Linien Ox, Oy an, ſo kann man in der Bewegung des Punctes ein Fortrücken parallel mit Ox und ein Fortrücken parallel mit Oy unterſcheiden. Zieht man nämlich AB, NC parallel zu Ox und AC, NB parallel zu Oy, ſo zeigt CN oder AB die Größe der mit Ox parallelen Ortsveränderung an, welche in der Bewegung des Punctes von A nach N enthalten iſt, und eben ſo BN oder AC die gleichzeitig Statt findende Veränderung der Lage des Beweglichen parallel zu Oy. Da nun dieſe beiden Veränderungen die Bewegung von A nach N vollſtändig erſchöpfen, ſo ſagt man, dieſe Bewegung ſey aus den zwei geradlinigen Bewegungen, wobei die Wege AB und AC beſchrieben werden, zuſammengeſetzt, und nennt letztere die Componenten der erſteren. Aehnliches läßt ſich von dem Falle ſagen, wenn nicht alle Puncte der Bahn AN in einerlei Ebene enthalten ſind, nur muß man dann, um die Bewegung vollſtändig zu erſchöpfen, drei nicht in derſelben Ebene liegende Geraden annehmen, nach deren Richtungen man die Verſchiebung des Beweglichen beurtheilt, woraus drei Componenten ſeiner Bewegung erwachſen.

272. Sind AB, AC, Fig. 110, die Wege, welche bei zwei in einerlei Ebene vor ſich gehenden, geradlinigen Bewegungen gleichzeitig zu beſchreiben ſind, und handelt es ſich um die aus der Zuſammenſetzung dieſer Bewegungen entſpringende Reſultirende, ſo kann man der Natur der Sache gemäß behaupten, daß das Bewegliche, in ſo fern es beiden vorgenannten Bewegungen zugleich Genüge leiſten ſoll, am Ende derſelben Zeit, binnen welcher die gegebenen componirenden Bewegungen erfolgen, ſich in dem Eckpuncte D des mit den

Seiten AB, AC verzeichneten Parallelogramms ABDC, oder was dasſelbe heißt, in dem Endpuncte der Diagonale AD dieſes Parallelogrammes befinden müſſe; denn nur auf dieſe Weiſe iſt es möglich, daß das Bewegliche parallel der AB, um ein ihr gleiches Stück CD, und eben ſo parallel der AC um ein ihr gleiches Stück BD verſchoben erſcheine. Allein daraus folgt noch keineswegs, daß das Bewegliche hiebei die Diagonale des Parallelogrammes der Componenten auch durchlaufe, ſondern es kann jeden anderen Weg von A zu D nehmen. Die Geſtalt dieſes Weges hängt von dem Geſetze ab, nach welchem die componirenden Bewegungen vor ſich gehen ſollen. Befände ſich das Bewegliche, wenn es der Bewegung AB allein gehorchte, in einem gewiſſen Augenblicke in dem Puncte H, und wenn es der Bewegung AC allein Folge leiſtete, in demſelben Augenblicke in K, ſo wird es durch Zuſammenſetzung beider Bewegungen in dem genannten Augenblicke in dem Durchſchnittspuncte M der zu AB und AC parallelen KM und HM ankommen. Damit der Punct M in AD enthalten ſey, muß die Proportion $AH:AB = HM:BD$, oder was dasſelbe iſt, die Proportion $AH:AB = AK:AC$ beſtehen. Wird dieſelbe in jedem Augenblicke, d. h. für alle correſpondirenden Lagen der Puncte H, K auf AB, AC erfüllt, ſo befindet ſich das Bewegliche in jedem Augenblicke in der Geraden AD, mithin durchläuft es dieſe Gerade. Solches iſt z. B. der Fall, wenn die beiden Componenten gleichförmige Bewegungen ſind. Denn bei dieſen verhalten ſich die Wege wie die Zeiten, binnen welchen ſie zurückgelegt werden, und daher ſind die Verhältniſſe $AH:AB$ und $AK:AC$ ſtets gleich. Es laſſen ſich aber auch unzählige andere, ungleichförmige Bewegungen denken, bei denen erwähnte Bedingung realiſirt iſt, aus deren Zuſammenſetzung daher ebenfalls eine geradlinige Reſultirende hervorgeht.

273. Wird ein Bewegliches von zwei momentanen Kräften P, Q getrieben, die nach den Richtungen Ax, Ay (Fig. 110) wirken, und ſind AB, AC die Wege, die es binnen einer und derſelben Zeit gleichförmig durchlaufen würde, wenn es dieſen Kräften einzeln gehorchen könnte, ſo bewegt es ſich nach der Richtung der Diagonale AD des Parallelogrammes ABDC gleichförmig, und beſchreibt während der genannten Zeit den Weg AD. Denn es muß das Bewegliche ſich gerade ſo benehmen, als ob es von einer einzigen Kraft R, nämlich von der Reſultirenden der Kräfte P, Q getrieben würde (112). Aber es verhalten ſich die gleichzeitigen Wege AB, AC wie die Geſchwindigkeiten, welche die Kräfte P, Q einer und derſelben Maſſe ertheilen (27), mithin wie dieſe Kräfte ſelbſt (28); letztere können daher durch AB, AC vorgeſtellt werden, und ihre Reſultirende hat dem zu Folge die Richtung der Diagonale AD des Kräftenparallelogramms ABDC, und iſt dieſer Diagonale proportional (121). Daher geräth das Bewegliche, in Folge der Action der Kraft R, in gleichförmige Bewegung, wobei es binnen der gedachten Zeit den Weg AD zurücklegt.

Man ſieht hieraus, daß die Bewegung, welche einem materiellen Puncte durch die gleichzeitige Action zweier momentanen, nach ver-

ſchiedenen Richtungen wirkenden Kräfte zu Theil wird, zugleich diejenige Bewegung iſt, die aus der Zuſammenſetzung der Bewegungen entſteht, welche die componirenden Kräfte jede für ſich allein hervorgebracht hätten, und daß ſich dem gemäß Geſchwindigkeiten ſo wie Kräfte zuſammenſetzen und zerlegen laſſen.

Dieſe Folgerung ſcheint dergeſtalt natürlich, daß ſelbe von Vielen als ein gar keines Beweiſes bedürfender Satz, als ein Princip betrachtet wird, das man der Entwicklung der Theorie der bewegenden Kräfte ohne Bedenken an die Spitze ſtellen darf. Allerdings muß jede wiſſenſchaftliche Forſchung von gewiſſen oberſten Sätzen ausgehen, die geradezu angenommen werden, und nicht aus anderen Sätzen ableitbar ſind. Allein es iſt einem ſtreng wiſſenſchaftlichen Gange nicht angemeſſen, einen Satz ohne Beweis gelten zu laſſen, der aus den Sätzen, zu deren Annahme man genöthiget war, durch Schlüſſe abgeleitet werden kann, wie klar er auch für ſich ſelbſt erſcheinen mag. Deßhalb wurde hier der Beweis des in der Rede ſtehenden Satzes geführt. Will man jedoch denſelben als ein nothwendiges Ergebniß des Principes anſehen, daß in der Wirkung nicht mehr und nicht weniger erſcheinen könne, als in den Urſachen liegt, ſo läßt ſich der Satz vom Kräftenparallelogramm daraus durch Umkehrung des oben befolgten Ganges auf eine ſehr einfache Weiſe deduciren, ja es iſt die Zuſammenſetzung der Kräfte in der That auf dieſe Weiſe entdeckt werden.

B. Bewegungen durch die Schwerkraft.

274. Zu den Bewegungen, welche durch die Schwere hervorgebracht werden, gehören: der freie Fall der Körper, die Wurfbewegung, das Herabgleiten über eine ſchiefe Ebene, wie auch über eine krumme Fläche, und die Bewegung der Pendel. Mit dieſen haben wir uns hier zu beſchäftigen.

275. Obgleich die Schwere in einerlei Verticalrichtung von oben nach unten hin bis zur Erdfläche zunimmt, ſo zeigen ſich doch die Aenderungen derſelben in Diſtanzen, die gegen den Halbmeſſer der Erde ſehr klein ſind, als unbedeutend, und dürfen bei der Betrachtung des freien Falles der Körper von geringen Höhen herab bei Seite geſetzt werden. Sonach erſcheint der freie Fall im leeren Raume als Reſultat der Wirkung einer beſtändigen continuirlichen Kraft (32), mithin als eine gleichförmig beſchleunigte Bewegung. Die Größen, welche hiebei in Vergleichung kommen, ſind: die Dauer der Bewegung, die während derſelben erlangte Geſchwindigkeit, und der zurückgelegte Weg. Die Beziehung zwiſchen den erſten zwei Größen iſt eine einfache Folge des Begriffes der gleichförmig beſchleunigten Bewegung. Bezeichnet nämlich t die Zeit, c die binnen derſelben erlangte Geſchwindigkeit, und g die Acceleration, d. h. die Geſchwindigkeit, welche binnen der Zeiteinheit erzeugt wird, ſo iſt $c:g = t:1$ mithin

$$c = gt \ldots. \ (1).$$

276. Um nun noch einen Ausdruck für den binnen der Zeit t zurückgelegten Weg s zu finden, in ſo fern das Bewegliche lediglich durch die beſchleunigende Kraft in Bewegung verſetzt worden iſt, theile man die Zeit t in eine gewiſſe Anzahl n gleicher Theile, deren jeder τ

heiße, und denke ſich vor der Hand die bewegende Kraft ſtoßweiſe wirkend, ſo daß ſie am Anfange jedes ſolchen Zeittheiles dem Beweglichen einen Zuſatz $\gamma = \frac{c}{n}$ an Geſchwindigkeit beibringt, ſo iſt der Weg, welcher im erſten Zeittheilchen zurückgelegt wird $= \gamma\tau$,

» zweiten » » » $= 2\gamma\tau$,
» dritten » » » $= 3\gamma\tau$,
» n^{ten} » » » $= n\gamma\tau$,

mithin $s = \gamma\tau + 2\gamma\tau + 3\gamma\tau$ ꝛc. $+ n\gamma\tau = \gamma\tau(1 + 2 + 3$ ꝛc. $\ldots + n)$

$$= (n + 1)\frac{n}{2}.\gamma\tau = \frac{n^2\gamma\tau}{2} + \frac{n\gamma\tau}{2} = \frac{n^2\gamma\tau}{2} + \frac{n^2\gamma\tau}{2n}.$$

Aber $n\gamma$ iſt gleich der Endgeſchwindigkeit c und $n\tau = t$, mithin

$$s = \frac{ct}{2} + \frac{ct}{2n}.$$

In dieſem Ausdrucke iſt das erſte Glied von n unabhängig, das zweite wird deſto kleiner, je größer n iſt, d. i. je ſchneller die Wirkungen der beſchleunigenden Kraft auf einander folgen. Es nähert ſich daher s dem Werthe $\frac{ct}{2}$ in demſelben Maße, in welchem ſich die beſchleunigende Kraft einer ununterbrochen wirkſamen, oder in welchem ſich die Bewegung einer gleichförmig beſchleunigten nähert. Für die beiderſeitige Grenze der Annäherung, nämlich für $n = \infty$, iſt daher

$$s = \frac{ct}{2} \ldots\ldots (2).$$

Aus 1 und 2 folgt $s = \frac{gt^2}{2} \ldots\ldots (3)$,

und hieraus $t = \sqrt{\frac{2s}{g}} \ldots\ldots (4)$,

endlich, aus (2) und (4), $c = \sqrt{2gs}$ (5).

Aus der Formel (3) erkennt man, daß bei der gleichförmig beſchleunigten Bewegung: 1) der während der erſten Zeiteinheit zurückgelegte Weg $= \frac{g}{2}$, d. i. die Hälfte der Acceleration iſt; 2) die Wege ſich verhalten wie die Quadrate der Zeiten; 3) die in auf einander folgenden gleichen Zeiten zurückgelegten Wege wie die ungeraden Zahlen wachſen. Heißt nämlich s′ für die Zeit t — 1, was s für t bedeutet, ſo iſt

$$s - s' = \frac{g}{2}(2t - 1).$$

Setzt man hier t = 1, 2, 3, 4... ſo findet man für s — s′ nach einander die Werthe $\frac{g}{2}$, $\frac{3g}{2}$, $\frac{5g}{2}$, $\frac{7g}{2}$ u. ſ. w.

Da eine gleichförmig beſchleunigte Bewegung rückwärts betrachtet, als gleichförmig verzögert erſcheint, d. h. als eine ſolche, bei welcher die Geſchwindigkeit in demſelben Verhältniſſe abnimmt, in welchem die Zeit wächſt; ſo ſind in den hier entwickelten Formeln auch die Geſetze dieſer Bewegung enthalten.

277. Die Richtigkeit der Vorausſetzung, daß dem freien Falle der Körper eine mit conſtanter Intenſität wirkende Kraft zum Grunde gelegt werden darf, beruht auf der Harmonie aller ſo eben erhaltenen Reſultate mit der Erfahrung. Verſuche, welche dieſes beſtätigen, laſſen ſich wegen der zu bedeutenden Höhe, die dazu erfordert würde, und wegen des Widerſtandes der Luft, nicht wohl beim freien Falle machen; aber es gibt eine Vorrichtung, die unter dem Namen der Atwood'ſchen Fallmaſchine bekannt iſt, mittelſt welcher man die Fallhöhe in einer Secunde beliebig vermindern und aus den Reſultaten der Verſuche, die ſich mit ihr anſtellen laſſen, doch auf die Geſetze beim freien Falle ſchließen kann. Dieſe Vorrichtung beſteht in ihrer einfachſten Geſtalt aus einem fixen, um ſeine Axe äußerſt leicht beweglichen Rade a (Fig. 111), über deſſen Umfang eine feine Schnur b geht, welche am Ende Schälchen zur Aufnahme beſtimmter Gewichte hat. Das Rad iſt an einer verticalen, in Zolle eingetheilten Säule c befeſtiget, an der man den Weg, den eine Schale zurücklegt, meſſen und mit der Zeit der Bewegung vergleichen kann. Man legt auf die Schalen gleiche Gewichte, und dann auf diejenige, deren Bewegung abwärts man in das Auge faſſen will, noch ein Gewichtchen, welches eben hinreicht, die Reibung an der Axe des Rades zu überwinden, ſo daß dieſes bei der geringſten Vermehrung des Gewichtes in Bewegung geräth. Gibt man nun noch ein Gewicht zu, ſo ſinkt die Schale, aber mit geringerer Acceleration als wenn ſie frei fiele. Denn die auf das Zuleggewicht wirkende Schwerkraft hat jetzt nicht bloß die Maſſe dieſes Gewichtes allein, ſondern auch noch die Maſſen der übrigen Gewichte nebſt dem Rade in Bewegung zu ſetzen. Man kann das Zuleggewicht jederzeit ſo wählen, daß die ſinkende Schale in der erſten Secunde einen beſtimmten Weg, z. B. 1 Zoll zurücklegt, dann wird ſie am Ende der zweiten Secunde 4 Zoll, am Ende der dritten 9 Zoll u. ſ. w. zurückgelegt haben. Läßt man aber die Schale ihr Zuleggewicht während des Sinkens an einem Ringe, durch den ſie geht, abſetzen, zu welchem Ende man dieſes Gewicht in länglicher Form nimmt, damit es auf dem Ringe liegen bleibe, ſo geräth die Schale von dem Augenblicke an in eine gleichförmige Bewegung, woran ſich die Geſchwindigkeit, die ſie bis dahin erlangt hat, zu erkennen gibt.

Iſt M die Geſammtmaſſe des Rades, der Schnur, der Schalen, ihrer gleichen Belaſtung und des Zuleggewichtes zur Ueberwindung der Reibung; x die Maſſe des Zuleggewichtes, das die Bewegung hervorbringt; ferner g die Beſchleunigung der Schwere im freien Falle, und g' jene an der Fallmaſchine: ſo beſteht, weil die bewegende Kraft gx der Maſſe $M + x$ die Acceleration g', d. h. die bewegende Kraft $(M + x)g'$ ertheilt, die Gleichung $gx = (M + x)g'$ woraus $(g - g')x = Mg'$ und $x = \frac{Mg'}{g - g'}$ folgt. Statt M kann man auch das Geſammtgewicht der genannten Maſſen ſetzen, und erhält dann x in Gewicht ausgedrückt, denn die Gewichte ſind ja den Maſſen proportionirt.

Wollte man, daß jede Schale in der erſten Secunde ſtatt $15\frac{1}{2}$ Fuß oder 186 Zoll, wie es bei dem freien Falle im luftleeren Raume in Wien,

wo $g = 31{,}03$ Fuß beträgt, geſchehen würde, an der Fallmaſchine nur 1 Zoll zurücklege, ſo ſetze man $\frac{1}{2} g = 186$, $\frac{1}{2} g' = x$ und man findet $x = \frac{M}{185}$.

Wegen der drehenden Bewegung des Rades iſt dieſe Rechnung nur eine angenäherte, eigentlich ſollte man nur die halbe Maſſe des Rades in Rechnung bringen.

278. Bekommt ein ſchwerer Körper durch eine momentan wirkende Kraft einen Stoß vertical aufwärts oder abwärts, und dadurch eine Geſchwindigkeit $= h$; ſo wird für den in der Zeit t zurückgelegten Weg s und die in derſelben Zeit erlangte Geſchwindigkeit c

$$s = ht \pm \frac{gt^2}{2};\ c = h \pm gt,$$

wo das Zeichen $+$ gilt, wenn der Stoß abwärts, hingegen, $-$ wenn er aufwärts wirkt. Es iſt klar, daß ein Körper im letzteren Falle ſo lange ſteigt, bis ſeine Geſchwindigkeit $= 0$ iſt. Heißt t' die Zeit, welche er bis dahin braucht, s' der zurückgelegte Weg, ſo iſt

$$h - gt' = 0 \text{ oder } \frac{h}{g} = t' \text{ und } s = ht' - \frac{gt'^2}{2} = \frac{h^2}{2g}.$$

279. Wird ein ſchwerer Körper horizontal geworfen, ſo beſchreibt er eine Parabel, deren Axe vertical ſteht. Denn wenn er vermöge der Wurfkraft in irgend einer beliebigen Zeit den Weg AB (Fig. 112), und in zwei ſolchen Zeiten den Weg AC, in drei Zeiten den Weg AD ꝛc. zurücklegen würde, falls ihn die Schwere nicht abwärts zöge, hingegen durch bloße Wirkung der Schwere in der erſten Zeit den Weg AE, in zwei Zeittheilen den Weg AF, in drei den Weg AG ꝛc.; ſo muß er ſich durch die gleichzeitige Wirkung beider Kräfte nach Verlauf der erſten Zeiteinheit vertical unter B in H, nach Verlauf der zweiten vertical unter C in I, nach Verlauf der dritten unter D in K u. ſ. w. befinden, ſo daß $BH = AE$, $CI = AF$, $DK = AG$ iſt u. ſ. w.; mithin den Weg AHIK zurücklegen. Es iſt aber

$EH : FI : GK :$ ꝛc. $= 1 : 2 : 3 :$ ꝛc., und daher
$EH^2 : FI^2 : GK^2 :$ ꝛc. $= 1 : 4 : 9 :$ ꝛc.; ferner
$AE : AF : AG :$ ꝛc. $= 1 : 4 : 9 :$ ꝛc.; mithin
$EH^2 : FI^2 : GK^2 :$ ꝛc. $= AE : AF : AG :$ ꝛc.

eine Eigenſchaft, die nur einer Parabel zukommt, welche AG zur Axe hat.

280. Wird ein Körper ſchief gegen den Horizont geworfen, ſo daß die Richtung Ax (Fig. 113) des Wurfes mit einer Horizontallinie Ay, die mit Ax in derſelben Verticalebene liegt, einen ſpitzen Winkel xAy, die ſogenannte Elevation des Wurfes, bildet, und iſt $c = AB$ die dem Körper nach der Richtung Ax ertheilte Geſchwindigkeit; ſo läßt ſich dieſe in eine horizontale $h = AC$ und in eine verticale $v = AD$ zerlegen. Vermöge der erſten ſchreitet der Körper parallel mit Ay gleichförmig fort; letztere wird durch die Schwere bekämpft, daher nimmt der Körper parallel mit der verticalen Az eine gleichförmig verzögerte Bewegung an: indem er dieſen beiden Bewegungen Folge leiſtet, beſchreibt er eine Bahn AO, deren höchſten Punct O er in dem Augen-

blicke erreicht, in welchem der verticale Theil v ſeiner anfänglichen Geſchwindigkeit durch den Einfluß der Schwere ganz vernichtet worden iſt, ſo daß ihm dort nur mehr der horizontale Theil h dieſer Geſchwindigkeit zukommt. Da er ſich in O in demſelben Zuſtande befindet, als würde er horizontal, nämlich nach Ou mit der Geſchwindigkeit h geworfen, ſo beſchreibt er den abſteigenden Aſt OE einer Parabel, deren Axe die durch O gehende Verticallinie OK iſt (279). Aber offenbar ſtimmt der aufſteigende Aſt AO der Bahn mit OE überein, weil die Schwere den verticalen Theil der Bewegung des Körpers auf dieſelbe Weiſe abwärts beſchleunigt, wie ſie denſelben aufwärts verzögert hat, weßwegen die verticale Componente der Geſchwindigkeit in gleichen Abſtänden von der OK einerlei Größe und nur entgegengeſetzte Richtungen beſitzt. Es iſt alſo auch hier die Bahn des geworfenen Körpers eine Parabel mit verticaler Axe. Die Entfernung des Durchſchnittspunctes E der Bahn mit dem Horizonte von A, nämlich AE, heißt die **Wurfweite**. Nennt man die Zeit, während welcher der Körper von A bis E geht, 2T, ſo iſt offenbar $AE = 2hT$ (27). Aber es iſt $v = gT$, alſo $T = \frac{v}{g}$; daher $AE = \frac{2hv}{g}$. Das Product hv drückt die Oberfläche des Rechteckes ACBD aus, welche das Doppelte des Dreieckes ADB iſt, mithin wenn man $DL = p$ ſenkrecht auf AB zieht, durch das Product $AB \,.\, DL = cp$ gemeſſen wird; es iſt demnach $hv = cp$, alſo die Wurfweite $AE = \frac{2cp}{g}$. Dieſe erhält, bei einerlei Größe der Wurfgeſchwindigkeit c, den größten Werth, wenn p am größten ausfällt. Weil die Peripherie eines über AB als Durchmeſſer verzeichneten Halbkreiſes ſtets durch D geht, ſo ſieht man, daß der größte Werth, deſſen p fähig iſt, dann Statt findet, wenn D in die Mitte des Halbkreiſes ADB fällt, d. h. $p = \frac{1}{2}c$ wird. Damit dieß geſchehe, muß $AD = DB$, alſo der Winkel $DBA = xAy = 45^\circ$ ſeyn. Dann wird $AE = \frac{c^2}{g}$. Für zwei Elevationen des Wurfes, welche einander zu 90° ergänzen, werden bloß die Werthe von h und v verwechſelt; dieſen Elevationen entſprechen alſo gleiche Wurfweiten. Auch ſieht man leicht, daß wenn $xAy = 15^\circ$ oder $= 75^\circ$ iſt, $p = \frac{1}{4}c$ wird; folglich $AE = \frac{c^2}{2g}$ ſich auf die Hälfte der größten Wurfweite reducirt.

Die Geſetze des Wurfes wurden zuerſt von **Galiläi** entwickelt.

281. Betrachtet man einen ſchweren Körper auf einer ſchiefen Ebene, ſo findet man, daß er auch durch eine beſtändige und continuirlich wirkende Kraft abwärts getrieben wird, und daher eine gleichförmig beſchleunigte Bewegung annehmen muß, wenn von allen Hinderniſſen der Bewegung abgeſehen wird, und die Höhe der ſchiefen Ebene nicht ſo groß iſt, daß die Schwere oben merklich ſchwächer wirkt als unten. Stellt z. B. AC (Fig. 114) den Durchſchnitt einer ſchiefen Ebene mit einer auf ihr ſenkrecht ſtehenden, verticalen Ebene

vor, iſt AB ihre Höhe, AC ihre Länge, BC ihre Baſis, ACB = a ihr Erhöhungswinkel, und endlich G der Schwerpunct eines Körpers, Gx die Richtung der Schwere, GD ihre Größe = g; ſo kann man GD in die auf AC ſenkrechte GE und in die mit ihr parallele GF zerlegen, wovon erſtere durch den Widerſtand der ſchiefen Ebene aufgehoben wird, während die letztere eine Bewegung längs derſelben hervorbringt, und relative Schwere heißt. Da Gx auf BC, und FD auf AC ſenkrecht ſteht; ſo iſt FDG = ACB = a und daher GF = GD . *sin* a = g . *sin* a, alſo eine Kraft, die für einerlei Werth von a beſtändig iſt, wenn g unverändert bleibt.

Mittelſt der ſchiefen Ebene hat am Anfange des 17. Jahrhunderts Galiläi zuerſt die Geſetze des Falls ſchwerer Körper in der Erfahrung dargethan.

282. Setzt man in den Formeln für die gleichförmig beſchleunigte Bewegung g *sin* a ſtatt g, und verſteht unter g den doppelten Fallraum in der erſten Secunde beim freien Falle; ſo gelten die ſo entſtehenden Formeln für den Fall über eine ſchiefe Ebene. Man hat deßhalb, wenn s′, t′, c′ dasſelbe für die ſchiefe Ebene ſind, was s, t, c für den freien Fall bedeuten:

$$c' = g t' . \sin a \quad . \quad (1), \qquad s' = \frac{g t'^2 . \sin a}{2} \quad (2)$$

$$t' = \sqrt{\frac{2 s'}{g . \sin a}} \quad . \quad (3). \qquad c' = \sqrt{2 g s' . \sin a} \quad (4).$$

283. Wenn ein Körper auf der ſchiefen Ebene (Fig. 115) von A bis D gekommen iſt, und die Frage enſteht, wie weit er in derſelben Zeit im freien Falle gekommen wäre; ſo errichte man im Puncte D auf AC die ſenkrechte DE, und man hat AE als den in Frage ſtehenden Fallraum. Denn ſetzt man ACB = a und nennt x den geſuchten Weg; ſo wird

$$AD = \frac{g t^2}{2} . \sin a \text{ und } x = \frac{g t^2}{2}, \text{ d. h. } AD = x . \sin a \text{ oder } \frac{AD}{\sin a} = x.$$

Aber wegen EAD = BAC und ADE = ABC iſt auch AED = a, und daher $\frac{AD}{\sin a}$ = AE, mithin x = AE.

284. Wendet man dieſen Satz auf den verticalen Durchmeſſer AB (Fig. 116) eines Kreiſes und deſſen Sehnen AC oder BC an; ſo findet man, daß AB, AC und CB gleichzeitige Wege ſind. Daß dieſes von AB und AC gilt, zeigt ſchon der rechte Winkel bei C, aber um es auch für AB und CB einzuſehen, ziehe man BD ſenkrecht auf CB, ferner CD vertical, und es ſind CB und CD gleichzeitige Wege. Da aber CD = AB, ſo müſſen auch AB und CB gleichzeitige Wege ſeyn. Es iſt klar, daß alle von A und B aus gezogenen Sehnen unter einander gleichzeitig ſeyn werden, weil jede einzelne mit AB gleichzeitig iſt. Da durch Drehung des Kreiſes um einen Durchmeſſer eine Kugel beſchrieben wird; ſo ſieht man, daß alle Sehnen, welche vom höchſten Puncte einer Kugel ausgehen oder im tiefſten Puncte derſelben zuſammentreffen, gleichzeitige Wege ſind.

285. Ein Körper erlangt dieſelbe Geſchwindigkeit, er mag die Länge AC (Fig. 115) einer ſchiefen Ebene, oder ihre Höhe AB zurückgelegt haben; denn es iſt

$$c = \sqrt{2g.AB},\ c' = \sqrt{2g.AC.\sin a},$$

aber $AC.\sin a = AB$, mithin $c = c'$. Eine Folge dieſes Satzes iſt, daß ein Körper beim Fall durch zwei ſchiefe Ebenen von verſchiedenen Neigungswinkeln aber gleichen Höhen, wie z. B. durch AB und AC (Fig. 117) eine gleiche Geſchwindigkeit erlangt.

286. Sind AB und BC (Fig. 118) zwei ſchiefe Ebenen, die unter dem Winkel ABC zuſammenſtoßen, ſo erleidet ein Körper, der ſich darauf bewegt, in B einen Verluſt an Geſchwindigkeit; denn er ſucht mit der Geſchwindigkeit, mit der er in B anlangt, nach BE fortzugehen, wird aber von dieſer Richtung in B durch die Bahn BC abgelenkt. Iſt BE die Geſchwindigkeit, mit der er in B ſeine Bewegung fortzuſetzen ſtrebt, ſo zerlege man ſie in die auf BC ſenkrechte BH und in die mit ihr parallele BF, und man ſieht leicht ein, daß erſtere durch den Widerſtand von BC aufgehoben wird, und nur mit letzterer der Körper über BC hinabgleitet. Errichtet man EI auf BE ſenkrecht, ſo iſt $BE < BI$, mithin der Verluſt an Geſchwindigkeit, nämlich $BE - BF$, kleiner als $BI - BF$ oder FI. Aber die Proportion $FI : EI = EI : BI$ gibt $FI = \frac{EI^2}{BI}$ und dieſer Ausdruck iſt wieder kleiner als $\frac{EI^2}{BE}$, daher $BE - BF < \frac{EI^2}{BE}$.

Denkt man ſich nun AB und BC als Sehnen einer ſtetig krummen Linie, und läßt man dieſelben unendlich klein werden, wodurch auch der Winkel EBC und mit ihm EI unendlich klein wird, während BE einerlei Größe behält; ſo ſieht man, daß der Verluſt an Geſchwindigkeit in B kleiner ausfällt, als die zweite Potenz einer Größe, die ſelbſt unendlich abnimmt, folglich unendliche Male wiederholt nur einen unendlich kleinen Totaleffekt herbeiführt. Hieraus ergibt ſich die Folge, daß wenn ein Körper über eine ſtetig krumme Bahn AL (Fig. 117) vermöge ſeiner Schwere herabgleitet, er in L mit derſelben Geſchwindigkeit anlangt, welche er im freien Falle von A bis zum Puncte M, der vertical unter A in der durch L gehenden Horizontalebene liegt, bekommen hätte.

287. Bisher wurden die Fälle betrachtet, wo ſich ein Körper auf einer Unterlage von beſtimmter Form bewegt, durch welche ihm der Weg vorgeſchrieben iſt, den er zu nehmen hat. Aber die Geſetze der Bewegung, die ein Körper in dieſen Fällen befolgen muß, gelten auch, wenn man ihn auf eine andere Weiſe, z. B. durch ein von oben angebrachtes Hinderniß, an einen ſolchen Weg bindet. So muß ſich ein Körper, der an einem Faden aufgehängt iſt, um den Aufhängepunct nach denſelben Geſetzen bewegen, als wenn er ſich in einer kreisförmigen Rinne befände. Ein Körper, der um eine nicht durch den Schwerpunct gehende und nicht verticale Axe bewegt werden kann, heißt über-

haupt ein Pendel, und zwar ein phyſiſches oder zuſſammengeſetztes. Denkt man ſich einen ſchweren Punct B (Fig. 119) an einer nicht ſchweren, ja ſelbſt nicht einmal trägen geraden Linie AB, die um A gedreht werden kann; ſo hat man einen Begriff von einem mathematiſchen oder einfachen Pendel. Man kann aber auch eine kleine Kugel an einem feinen Faden, deſſen Länge den Durchmeſſer der Kugel bedeutend übertrifft, ohne großen Fehler als einfaches Pendel anſehen.

288. Wird das einfache Pendel AB aus ſeiner verticalen Lage AB nach AC gebracht, und da ſich ſelbſt überlaſſen; ſo wird es durch die Schwere nach B hingetrieben, und beſchreibt den mit AB in derſelben verticalen Ebene liegenden Bogen CB. Um die Kraft zu finden, welche in jedem Augenblicke auf den ſchweren Punct wirkt, ſey Cx die Richtung der Schwerkraft, $CE = g$ ihre Beſchleunigung, a der Erhöhungs- oder Elongationswinkel CAB, und man zerlege CE in die auf AC ſenkrechte CF, und die mit ihr parallele CD; ſo wird letztere durch den Widerſtand der Linie CA aufgehoben, und zur Bewegung des Pendels bleibt nur mehr $CF = CE \,.\, \sin CEF = g \,.\, \sin a$, weil $CEF = ECD = CAB = a$ iſt. Da dieſe Kraft für einerlei Werth von g vom $\sin a$ abhängt, der immer kleiner wird, ſo wie ſich das Pendel der Verticalen AB nähert; ſo iſt die Bewegung von C bis B eine ungleichförmig beſchleunigte. In B hat das Pendel die größte Geſchwindigkeit, es muß ſich daher vermög der Trägheit weiter bewegen, und zwar wegen des Widerſtandes der Linie AB im Bogen BH, und mit ungleichförmig verzögerter Bewegung, weil die entgegen wirkende Schwere jetzt die Geſchwindigkeit wieder in umgekehrter Ordnung ſo vermindert, wie ſie ſelbe bei dem Herabgehen des Pendelpunctes durch den Bogen CB vermehrt hat, weßwegen auch offenbar $BH = CB$ ſeyn muß. In H tritt wieder derſelbe Fall ein, welcher in C Statt hatte, das Pendel ſteigt nach B herab, erhebt ſich wieder nach C, und würde ſo ſeine Schwingungen ohne Unterlaß fortſetzen, wenn keine Hinderniſſe dieſe Bewegung ſtörten.

289. Die Bewegung vom höchſten Puncte der Bahn C (Fig. 119) bis zum höchſten Puncte H an der anderen Seite der Verticalen heißt eine Schwingung. Die Zeit T, in der eine ſolche vollbracht wird, läßt ſich, unter der Vorausſetzung, daß der Ausſchlagwinkel BAC, Fig. 120, ſehr klein iſt, aus der gegebenen Länge $AB = l$ des Pendels, auf folgende Weiſe finden: In der Lage AM des Pendels hat der ſchwere Punct deſſelben eine Geſchwindigkeit erlangt, welche derjenigen gleich iſt, die er im freien Falle von D bis P erhalten hätte, deren Werth daher durch $\sqrt{2g \,.\, DP}$ ausgedrückt wird. Mit dieſer beſchreibt er ein nächſtes unendlich kleines Stückchen Mm ſeiner Bahn während der Zeit $\tau = \frac{Mm}{\sqrt{2g \,.\, DP}}$. Zieht man mp zu den auf AB ſenkrechten CD, MP parallel, und mn auf MP ſenkrecht, ſo iſt wegen der Aehnlich-

keit der Dreiecke Mmn, AMP

$$\mathrm{Mm : mn\ (oder\ Pp) = AM : MP\ mithin\ Mm} = \frac{\mathrm{l.Pp}}{\mathrm{MP}}.$$

Weil aber auch, einer bekannten Eigenſchaft des Kreiſes zu Folge, $MP^2 = BP(2l - BP)$ iſt, wofür man annäherungsweiſe, indem wegen der Kleinheit des Winkels BAC, das Stück BD, alſo um ſo mehr BP gegen l ſehr klein iſt, $MP^2 = 2l.BP$ ſetzen darf, ſo hat man

$$\tau = \frac{l.Pp}{\sqrt{2g.2l.DP.BP}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}.\frac{Pp}{\sqrt{DP.BP}}.$$

Beſchreibt man über BD als Durchmeſſer einen Halbkreis, der MP und mp in K und k ſchneidet, ſo zeigt ſich

$$KP = \sqrt{DP.BP}\ \text{mithin}\ \tau = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}.\frac{Pp}{KP}.$$

Zieht man vom Halbirungspuncte E der BD zu K eine Gerade und ku parallel zu BD, ſo gibt die Aehnlichkeit der Dreiecke EKP, Kku, ku (oder Pp) : Kk = KP : EK (oder EB) : daher iſt

$$\frac{Pp}{KP} = \frac{Kk}{EB}\ \text{folglich}\ \tau = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}.\frac{Kk}{EB}.$$

Theilt man den Bogen CB in unendlich viele Stückchen, wie Mm eines iſt, und nimmt man alle Zeittheile, binnen welchen jedes ſolche Stückchen vom Pendelpuncte durchlaufen wird, zuſammen, ſo erhält man die Dauer der Bewegung durch den Bogen CB, nämlich $\frac{T}{2}$, wenn man $\frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$ mit der Summe aller Werthe multiplicirt, die der Bruch $\frac{Kk}{EB}$ für jedes der erwähnten Theilchen annimmt. Letztere Summe iſt offenbar gleich dem Quotienten des Halbkreiſes DKB, getheilt durch den Halbmeſſer EB, d. h. gleich π; hieraus folgt

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Für einen größeren Ausſchlagwinkel a muß man, wie die höhere Analyſis lehrt, ſetzen:

$$t = \pi\sqrt{\left(1 + \frac{a^2}{16}\right)\frac{l}{g}}.$$

Iſt $\frac{a^2}{16}$ nicht ſo klein, daß man dieſen Bruch bei dem beabſichtigten Grade der Genauigkeit des Reſultates vernachläßigen darf, ſo muß man nach letzterer Formel rechnen.

Die Formel $T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ gilt in aller Strenge eigentlich nur für die Radlinie, d. i. für die Linie, welche ein Punct der Peripherie eines auf einer geraden Bahn fortrollenden Rades beſchreibt, bei welcher l dem Durchmeſſer des Erzeugungskreiſes gleichkommt, und T iſt in ihr ganz unabhängig von der Größe des Ausſchlagswinkels, weil dieſe Linie die merkwürdige Eigenſchaft hat, daß in einer nach ihr geformten Rinne kleine und große Bögen, wenn ſie ſich nur im Scheitelpuncte endigen, und zugleich die Axe der Radlinie vertical ſteht, in derſelben Zeit zurückgelegt werden.

290. Vergleicht man die Schwingungen zweier Pendel mit einander und ſind l, l' ihre Längen, g, g' die Accelerationen der Schwere, welche, in ſo fern die Pendel ſich nicht am nämlichen Orte befinden, verſchieden ſeyn können, und T, T' die Schwingungszeiten, ſo folgt aus

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} \text{ und } T' = \pi\sqrt{\frac{l'}{g'}}$$

$$T : T' = \sqrt{\frac{l}{g}} : \sqrt{\frac{l'}{g'}}.$$

An demſelben Orte iſt $g = g'$ alſo

$$T : T' = \sqrt{l} : \sqrt{l'} \text{ oder } T^2 : T'^2 = l : l'.$$

An verſchiedenen Orten iſt für ein und daſſelbe Pendel, wegen $l = l'$,

$$T : T' = \frac{1}{\sqrt{g}} : \frac{1}{\sqrt{g'}} \text{ oder } T^2 : T'^2 = g' : g.$$

Sind n und n' die Anzahl der Schwingungen beider Pendel an verſchiedenen Orten binnen derſelben Zeit $\mathfrak{T}$, ſo iſt ſowohl $\mathfrak{T} = nT$ als auch $\mathfrak{T} = n'T'$, mithin $nT = n'T'$ oder $n : n' = T' : T$. Hieraus folgt

$$n : n' = \sqrt{\frac{l'}{g'}} : \sqrt{\frac{l}{g}} \text{ oder } n^2 : n'^2 = \frac{g}{l} : \frac{g'}{l'},$$

für $l = l'$ wird $n^2 : n'^2 = g : g'$; für $g = g'$, $n^2 : n'^2 = l' : l$. Hat man ein Pendel von der Länge l, das in einer Secunde n Schwingungen macht, ſo findet man die Länge des Secundenpendels λ aus

$$n^2 : 1 = \lambda : l \text{ d. i. } \lambda = n^2 l.$$

Dieſe Geſetze der Pendelſchwingungen ſind wieder ein Geiſtesproduct des berühmten Galiläi. Schon in ſeinem achtzehnten Jahre machte ihn das Schwingen einer Lampe im Dome zu Piſa darauf aufmerkſam.

291. Bezeichnet man die Zeit, während welcher der von C, Fig. 120, ausgehende Pendelpunct den Bogen MB durchlauft mit t, ſo erhält man auf dem in 289 betretenen Wege

$$t = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \frac{KB}{EB} = \sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \frac{KB}{DB}, \text{ und hieraus } \frac{KB}{DB} = t\sqrt{\frac{g}{l}}.$$

Nun iſt $MP^2 = 2l.BP$, oder weil man die ſehr wenig verſchiedenen Längen MP und MB mit einander verwechſeln darf, $MB^2 = 2l.BP$. Eben ſo hat man, wegen der Kleinheit der anfänglichen Elongation des Pendels $CB^2 = 2l.DB$, mithin iſt $\frac{MB^2}{CB^2} = \frac{BP}{DB}$. Zieht man die Sehne KB, deren Benennung von jener des gleichnamigen Kreisbogens durch einen darüber geſetzten Strich unterſchieden werden mag, ſo zeigt ſich $BP = \frac{\overline{KB}^2}{DB}$. Hiedurch wird $\frac{MB^2}{CB^2} = \frac{\overline{KB}^2}{DB^2}$, mithin $\frac{MB}{CB} = \frac{\overline{KB}}{DB}$. Der Quotient $\frac{\overline{KB}}{DB}$ iſt der Sinus des Winkels KDB (den trigonometriſchen Halbmeſſer = 1 geſetzt) und der Quotient $\frac{KB}{DB}$ iſt der Ausdruck des zwiſchen den Schenkeln dieſes Winkels mit dem Halbmeſſer = 1 beſchriebenen Bogens, daher hat man $\frac{\overline{KB}}{DB} = \sin\frac{KB}{DB}$

und ſomit beſteht die Gleichung $\frac{MB}{CB} = sin\ \frac{KB}{DB}$ oder

$$\frac{MB}{CB} = sin\left(t\sqrt{\frac{g}{l}}\right).$$

Die Geſchwindigkeit, welche der Pendelpunct an der Stelle M beſitzt, ſie heiße v, wird durch $\sqrt{2g.DP}$ ausgedrückt (289), und wenn man die in B Statt findende Geſchwindigkeit c nennt, iſt aus ähnlichem Grunde $c = \sqrt{2g.DB}$. Hieraus folgt

$$\frac{v}{c} = \sqrt{\frac{DP}{DB}} = \frac{DK}{DB} = cos\ \frac{KB}{DB} = cos\left(t\sqrt{\frac{g}{l}}\right).$$

Von dieſen Reſultaten läßt ſich, wie an einem ſpäteren Orte zu ſehen ſeyn wird, ein nützlicher Gebrauch machen. Es iſt für ſich klar, daß dieſe Formeln, und daher auch jeder aus ihnen folgende Satz, auf alle Fälle angewendet werden kann, in welchen ein Punct, welcher während ſeiner Bewegung ſtets in derſelben Entfernung von einem fixen Puncte zu bleiben genöthigt iſt, nicht von der Schwere, ſondern von einer andern, jedoch in ihrem Wirken dieſer analogen Kraft getrieben wird, unter der Vorausſetzung, daß der Punct von ſeiner Gleichgewichtslage ſich ſtets nur wenig entfernt.

292. Wiewohl dieſe Geſetze bloß für ein einfaches Pendel entwickelt ſind, ſo laſſen ſie ſich doch auf ein zuſammengeſetztes anwenden, welches um eine horizontale Axe ſchwingt. Denn ein ſolches zuſammengeſetztes Pendel kann als ein Syſtem einfacher, aber ungleich langer, in verticalen Kreiſen ſchwingenden Pendel angeſehen werden. Die Schwingungen der kürzeren werden durch die der längeren verzögert, jene der längeren durch die der kürzeren beſchleunigt, während jene Puncte, die in einer gewiſſen, zur Axe des Pendels parallelen, geraden Linie liegen, ſo ſchwingen, als ob ſie mit den übrigen Puncten des Pendels gar nicht verbunden wären. Dieſe Puncte heißt man Schwingungspuncte, die Entfernung eines jeden derſelben von der Axe gibt die Länge eines einfachen Pendels, deſſen Schwingungen dieſelbe Dauer haben, wie die des zuſammengeſetzten, welche Länge mithin diejenige iſt, die in Rechnung gebracht werden muß, wenn man die vorhin dargeſtellten Formeln auf ein zuſammengeſetztes Pendel anwenden will. Die Linie, in welcher die Schwingungspuncte liegen, heißt die Axe der Schwingungspunkte. Sie hat die merkwürdige Eigenſchaft, daß man ſie mit der Drehungsaxe verwechſeln kann, ſo daß ein Pendel an erſterer aufgehängt, nun die Schwingungspuncte in der vorigen Drehungsaxe hat. Sind an einer Pendelſtange in ungleichen Abſtänden von den Enden zwei Axen ſo angebracht, daß ſie um jede derſelben ſchwingend Secunden ſchlägt; ſo gibt die Entfernung beider Axen die Länge des einfachen Secundenpendels. Hierauf beruht die Einrichtung des Reverſionspendels. Daß dabei noch auf die Größe der Schwingungsbogen und auf die Gewichtsverminderung des Pendels in der Luft (250) Rückſicht genommen werden müſſe, verſteht ſich von ſelbſt. Man kann die Länge des mit dem zuſammengeſetzten Pendel gleichzeitig ſchwingenden, einfachen Pendels beiläufig finden, wenn man ein einfaches Pendel neben dem zu-

ſammengeſetzten aufhängt und es ſo lange verlängert oder verkürzt, bis beide gleichzeitig ſchwingen. Die Länge des einfachen Pendels gibt dann die Entfernung der Drehungsaxe von der Axe der Schwingungspuncte. Genauer lehrt dieſes die Rechnung.

Es ſey A B, Fig. 121, irgend ein Körper, der ſich um den Aufhängepunct A bewegen kann, und ſolchergeſtalt ein zuſammengeſetztes Pendel vorſtellt, z. B. eine Stange. Betrachten wir in ihr, indem wir ſelbe in unendlich kleine Stückchen getheilt denken, die Theilchen m, m′, m″,... Es komme die Stange aus der Lage AB in die Lage AB′, wobei die Puncte m, m′, m″,... gleichzeitig die Kreisbogen mn, m′n′, m″n″,... beſchreiben, ſo iſt

$$mn : m'n' : m''n'' : \ldots = Am : Am' : Am'' : \ldots$$ oder

$$\frac{mn}{Am} = \frac{m'n'}{Am'} = \frac{m''n''}{Am''} = \ldots$$ Denkt man ſich dieſe Bogen binnen der Zeit τ beſchrieben, und bezeichnet man die Geſchwindigkeiten, welche die genannten Puncte dabei haben, der Reihe nach mit v, v', v'',... und die Entfernungen dieſer Puncte von A mit a, a', a'',... ſo nimmt die vorige Gleichung, wenn man durchgehends durch die Zeit τ dividirt und bedenkt, daß $\frac{mn}{\tau} = v$, $\frac{m'n'}{\tau} = v'$, $\frac{m''n''}{\tau} = v''$... iſt, folgende Geſtalt an: $\frac{v}{a} = \frac{v'}{a'} = \frac{v''}{a''} = \ldots$. Es ſey ω der gemeinſchaftliche Werth aller dieſer Quotienten, welchen Werth man die Winkelgeſchwindigkeit der ſich drehenden Stange nennt, ſo hat man $v = a\omega$, $v' = a'\omega$, $v'' = a''\omega$, u. ſ. w. Nennt man die Maſſen der genannten Puncte m, m', m'',... und denkt man ſich unter v, v', v'',... nicht die Geſchwindigkeiten, welche dieſe Maſſen in irgend einem Augenblicke ſchon beſitzen, ſondern nur die Zunahmen an Geſchwindigkeit, welche dieſe Maſſen durch die während einer ſehr kleinen Zeit τ Statt findende Einwirkung der Schwere im Verlaufe der Pendelſchwingung der Stange empfangen, und läßt man eben ſo ω die entſprechende Zunahme an Winkelgeſchwindigkeit bedeuten, ſo ſind die Producte mv, $m'v'$, $m''v''$,... oder was daſſelbe iſt, $ma\omega$, $m'a'\omega$, $m''a''\omega$,... die Ausdrücke der bewegenden Kräfte, welche dieſen Maſſen während der Zeit τ zu Theil geworden ſind. Es ſey γ die Geſchwindigkeit, welche die durch Zerlegung ſenkrecht gegen die Richtung der Stange hervorgehende Componente der Schwere binnen der Zeit τ einer freien Maſſe ertheilen würde, ſo entſprechen den genannten Maſſen die bewegenden Kräfte $m\gamma$, $m'\gamma$, $m''\gamma$,... und es hätten dieſe Maſſen, wenn ſie nicht durch den Zuſammenhalt der Stange an einander gebunden wären, jede einzeln die volle Wirkung der ihr zukommenden Schwere erfahren. Allein da doch von dem Effecte dieſer Kräfte nichts verloren gehen kann, ſo müſſen dieſen die vorgenannten, an der Stange in der Wirklichkeit ſich äußernden Kräfte $ma\omega$, $m'a'\omega$, $m''a''\omega$,... völlig gleich gelten, mithin, da hiebei die Stange als ein Hebelarm anzuſehen iſt, die Gleichung

$$ma\gamma + m'a'\gamma + m''a''\gamma + \ldots = ma^2\omega + m'a'^2\omega + m''a''^2\omega + \ldots$$

beſtehen, d. h. es muß $\frac{\gamma}{\omega} = \frac{ma^2 + m'a'^2 + m''a''^2 + \ldots}{ma + m'a' + m''a'' + \ldots}$ ſeyn. Wäre nur ein einziger ſchwerer Punct M in der Diſtanz $AM = l$ an der Stange vorhanden, und ſollte die Winkelgeſchwindigkeit dieſelbe Aenderung wie vorhin erfahren, d. h. wäre ein mit der Stange gleich ſchwingendes einfaches Pendel vorhanden, deſſen Länge l iſt, ſo müßte nach der ſo eben erhaltenen Gleichung

$$\frac{\gamma}{\omega} = \frac{Ml^2}{Ml} = l$$

ſeyn. Dieß gibt

$$l = \frac{ma^2 + m'a'^2 + m''a''^2 + \dots}{ma + m'a' + m''a'' + \dots}$$

Man nennt das Product einer Maſſe mit dem Quadrate ihres Abſtandes von einer Drehungsaxe das Moment der Trägheit derſelben bezüglich dieſer Axe, und das Product der Maſſe mit dem einfachen Abſtande von der Axe das ſtatiſche Moment; es gilt daher die Regel: die Länge des einfachen Pendels, das mit einem zuſammengeſetzten übereinſtimmend ſchwingt, iſt gleich der Summe der Momente der Trägheit aller ſeiner Theile dividirt durch die Summe ſämmtlicher ſtatiſcher Momente bezüglich der Drehungsaxe. Wendet man dieſe Regel auf eine Stange von der Länge A an, ſo findet man $l = \frac{2}{3} A$. Aus der für l gefundenen Formel läßt ſich die oben ausgeſprochene Eigenſchaft der Schwingungspuncte, wenigſtens für eine dünne Stange, leicht ableiten. Nimmt man nämlich den Schwingungspunct zum Aufhängepunct der Stange, ſo treten $l-a$, $l-a'$, $l-a''$, ... an die Stelle von a, a', a'', ... Heißt nun die jetzt Statt findende Länge des gleich ſchwingenden einfachen Pendels L, ſo wird

$$L = \frac{m(l-a)^2 + m'(l-a')^2 + m''(l-a'')^2 + \dots}{m(l-a) + m'(l-a') + m''(l-a'') + \dots}$$

oder wenn man zur Abkürzung

$$ma^2 + m'a'^2 + m''a''^2 + \dots = S$$
$$ma + m'a' + m''a'' + \dots = T$$
$$m + m' + m'' + \dots = M$$

ſetzt, $L = \frac{Ml^2 - 2Tl + S}{Ml - T}$. Aber es iſt $l = \frac{S}{T}$, folglich $S = Tl$, daher hat man $L = \frac{Ml^2 - Tl}{Ml - T} = l$, was zu beweiſen war.

293. Die Gleichzeitigkeit aller Schwingungen eines Pendels, welches immer dieſelbe Länge beibehält, empfiehlt es zum bequemen und richtigen Zeitmeſſer. Man braucht es nur mit einem Räderwerke zu verbinden, welches bei jedem Schlage des Pendels um einen oder mehrere Zähne weiter rückt, und zugleich einen Zeiger mit ſich herumführt, der die Anzahl der geſchehenen Schwingungen anzeigt. Am ſicherſten nimmt man dazu ein Secundenpendel, aus deſſen Schwingungen man noch leicht $^1/_4$ Secunde abnehmen kann.

Bevor man dieſen Gebrauch des Pendels kannte, mußte man ſich auf eine elende Art mit Waſſer- und Sanduhren behelfen, und aus der Menge des Waſſers oder Sandes, die aus einer Oeffnung eines weiten Gefäßes abgefloſſen, die Zeitdauer abnehmen. Man ſieht wohl auf den erſten Blick, wie unſicher dieſes Verfahren ſeyn mußte, und wie viel Dank wir dem berühmten Huyghens ſchulden, der zuerſt den Gebrauch des Pendels als Zeitmeſſer lehrte. *Christ. Hugenii horologium oscillatorium. Paris.* 1673. — Auf der Theorie des Pendels beruht auch der muſikaliſche Zeitmeſſer (métronome); das Centrifugal-Pendel (ein Pendel, welches bei jeder Schwingung eine Kegelfläche beſchreibt), und deſſen Anwendung auf Tertienzähler.

294. Wenn ein Pendel ein ganz genauer Zeitmeſſer ſeyn ſoll, ſo muß es von der ausdehnenden Kraft der Wärme ſo wenig als möglich afficirt werden. Deßhalb muß es ſtets in Orten aufbewahrt werden,

wo der Temperaturwechſel nicht groß iſt, oder, wo dieſer nicht ganz vermieden werden kann, zu Pendelſtangen ein Material gewählt werden, das ſich in der Wärme nur wenig ausdehnt, wie z. B. gut ausgetrocknetes, in Oehl geſottenes und dann überfirnißtes Holz. Am beſten ſetzt man Pendelſtangen aus mehreren Stücken ſo zuſammen, daß ſich die Wirkungen der Wärme gegenſeitig aufheben. Eine ſolche Vorrichtung heißt eine Compenſation.

Eine der einfachſten, ſinnreichſten Compenſationen iſt die ſogenannte Queckſilbercompenſation (Fig. 122). Die Stange AB wird durch die Wärme verlängert, und das Queckſilber CED ſo ausgedehnt, daß es den Raum C'E'D' einnimmt. Iſt nun die Queckſilbermenge richtig ausgemittelt, ſo ſenkt ſich der Schwingungspunct des Pendels durch die Ausdehnung der Stange um eben ſo viel, als er ſich wegen Ausdehnung des Queckſilbers erhebt, und die Lage deſſelben bleibt beſtändig. Denſelben Zweck ſucht man auch durch die ſogenannten Roſtpendel zu erreichen, deren eines Fig. 123 vorſtellt. AB iſt die Pendelſtange von Eiſen, von demſelben Material ſind auch die Stangen CD und cd, während EF und ef von Zink ſind. Wenn nun die Ausdehnung des Zinkes doppelt ſo groß iſt, als die des Eiſens; ſo wird, weil das Pendel in G aufgehängt iſt, die Senkung des Schwingungspunctes durch die Ausdehnung der Pendelſtange AB und der Hilfsſtangen CD, cd durch das aufgehoben, um was er ſich bei der Ausdehnung der Zinkſtangen EF, ef hebt. Sehr ſinnreich iſt die von Martin angegebene Compenſation (Fig. 124). AB iſt die Pendelſtange, CD ein Querblech, in C und D mit kugelförmigen Maſſen verſehen, die ſich der AB durch Schrauben nähern oder davon entfernen laſſen. CD beſteht aus zwei wohl an einander geſchraubten Blechen, die ſich in der Wärme verſchieden ausdehnen, und wovon das mehr ausdehnbare unten iſt. Iſt nun CD bei irgend einer Temperatur gerade: ſo nimmt es bei größerer Wärme die Form C'D', bei geringerer die Form C''D'' an, und erhält ſo den Schwingungspunct des Pendels, ungeachtet der Ausdehnung oder Zuſammenziehung der Pendelſtange AB, ſtets in derſelben Entfernung von der Axe.

295. Noch wichtiger wird dem Phyſiker das Pendel dadurch, daß es die Geſetze der irdiſchen Schwere, die in 133 aus einem allgemeinen Naturgeſetze abgeleitet wurden, unmittelbar darthut, und zwar wie folgt: 1) Die Richtung eines ruhigen Pendels zeigt die Richtung der Schwere an. 2) Die Gleichzeitigkeit kleiner Schwingungen bei Pendeln von gleicher Länge thut die ſtets unveränderliche Wirkſamkeit der Schwere an einem und demſelben Orte der Erde dar. 3) Der Umſtand, daß Pendel von dem mannigfaltigſten Materiale, wenn ſie nur gleich geſtaltet ſind, gleichzeitig ſchwingen, beweiſet, daß alle Materie gleich ſchwer ſey. 4) Setzt man in $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, $t = 1$, ſo wird $g = \pi^2 l = 9,86960\, l$, mithin iſt auch die Beſchleunigung der Schwere durch die Länge des Secundenpendels gegeben. Für Wien iſt $l = 3,144021$ F. 5) Da ein Pendel am Gipfel eines Berges weniger Schwingungen macht, als am Fuße deſſelben; ſo nimmt die Schwere ab, wenn man ſich vom Erdmittelpuncte entfernt. 6) Durch Pendelbeobachtungen hat man das ſchon von Newton aufgeſtellte Geſetz bewährt gefunden, daß die Schwere gegen den

Aequator zu abnimmt, gegen die Pole aber wächſt; denn Richer fand (J. 1672), daß ein Pendel, welches in Paris Secunden ſchlug, auf der Inſel Cayenne verkürzt werden mußte, um auch dort Secunden zu ſchlagen. 7) Sogar die Gegenſeitigkeit der Anziehung unter allen Körpern der Erde wird aus den Erſcheinungen ſichtbar, die uns Pendel darbieten. Man bemerkt nämlich, daß ein Pendel in der Nähe großer Berge gegen dieſelben abgelenkt wird.

Schon Newton ließ Gold, Silber, Blei, Glas, Sand, Kochſalz, Waſſer, Weizen und Holz in gleichen Kreisbogen ſchwingen, und fand, daß ihre Schwingungen gleichzeitig ſeyn; neueſtens hat Beſſel ähnliche Verſuche mit der dieſem ausgezeichneten Forſcher eigenen Genauigkeit angeſtellt, und zwar mit Gold, Silber, Blei, Eiſen, Zink, Meſſing, Marmor, Thon, Quarz, Waſſer, Meteoreiſen und Meteorſtein, aber keine Andeutung erhalten, daß der Satz, alle Körper ſeyen gleich ſchwer, nicht wirklich das Naturgeſetz ſey. (Pogg. Ann 25. 401.)

Bougner und Condamine fanden, daß ein Pendel, welches am Ufer des Meeres in 24 Stunden 98770 Schwingungen machte, es zu Quito (9036 Fuß höher) nur auf 98740, auf dem Pichincha (14988 Fuß über dem Meere) gar nur auf 98720 Schwingungen brachte. Bougner berechnete hieraus die Abnahme der Schwere und fand, daß ſie, wenn man ſie an der Meeresfläche = 1 ſetzt, zu Quito 0,999249, auf dem Pichincha 0,998816 ſey. — Man kann es als eine durch die Erfahrung beſtätigte Sache anſehen, daß die Länge l eines Secundenpendels unter der Breite φ in P. Linien ausgedrückt werden kann durch

$$l = 439{,}2066 + 2{,}3862 \sin \varphi^2,$$

wo 439,2066 die Länge des Sexageſimal-Secundenpendels unter dem Aequator in P. Linien bezeichnet. — Mehr über Pendelbewegungen liefert beſonders Kraft's Mechanik, überſetzt von Steingruber. Dresden, 1787, S. 260—350. Gehler's neues Wörterbuch: Pendel. Unterſuchungen über die Länge des einfachen Secundenpendels von von F. W. Beſſel. Berlin 1828.

C. Centralbewegung.

296. Wenn ein völlig freier Körper von einer ununterbrochen nach demſelben Puncte wirkenden Kraft gezogen wird, während er durch eine andere, momentan wirkende Kraft eine ſeitwärts gehende Bewegung erhalten hat; ſo entſteht eine Centralbewegung. Die beiden wirkenden Kräfte heißt man Centralkräfte, und zwar jene Centripetalkraft, der Punct nach dem ſie zielt, den Centralpunct; dieſe hingegen Tangentialkraft.

Hieher gehört offenbar auch der Fall, wenn der Körper ſich bereits im Zuſtande der Bewegung befindet, und ſodann von der Centripetalkraft afficirt wird; man kann die Sache immer ſo nehmen, als ob er die Geſchwindigkeit, die er ſeiner Trägheit zu Folge beibehalten würde, in einem beliebigen Augenblicke erſt erhalten hätte. Es läßt ſich auch ſtatt einer Kraft, die das Bewegliche zum Centralpuncte hinzieht, eine ſolche betrachten, durch welche der Körper von dieſem Puncte fortwährend abgeſtoſſen wird, doch hat dieſer Fall, der genau wie der obige behandelt werden kann, bis jetzt keine practiſche Anwendung gefunden.

297. Es wirke die Centripetalkraft auf einen Körper A (Fig. 125) nach AC, die Tangentialkraft nach Ax, und man nehme an, daß die Centripetalkraft nicht ununterbrochen wirke, ſondern daß eine Wir-

kung auf die andere in der Zeit τ folge, ferner daß das Bewegliche in der Zeit τ, in Folge des Impulſes der Tangentialkraft, oder in ſo fern es bereits in Bewegung iſt, bloß wegen ſeiner Trägheit den Weg AB zurücklege, durch bloße Wirkung der Centripetalkraft aber den Weg AD, wobei nämlich AD gegen AB ſehr klein gedacht werden muß (33. Anm.); ſo kommt es durch die Wirkung beider in derſelben Zeit nach E, wenn AE die Diagonale des Parallelogramms ABED iſt. Wenn hier keine fernere Wirkung der Centripetalkraft erfolgte, ſo würde das Bewegliche in der Geraden Ay fortgehen und in der Zeit τ wieder den Weg EF = AE zurücklegen. Weil aber in E wieder die Wirkſamkeit der Centripetalkraft eintritt, vermög welcher das Bewegliche in τ den Weg EG beſchriebe, wenn es nicht ſchon in E eine Bewegung hätte; ſo muß es nach H kommen. Hier tritt wieder derſelbe Fall ein, wie in E, und ſo geht es weiter, ſo daß es klar genug iſt, daß der Weg des Körpers keine gerade Linie ſeyn kann, ſondern, bei der Vorausſetzung einer ſtoßweiſe erfolgenden Wirkung der Centripetalkraft, ein Polygon, das in der Ebene der Richtungen der Kräfte liegt. Dieſes Polygon wird ſich aber einer continuirlich krummen Linie deſto mehr nähern, je kleiner τ iſt. Stellt man ſich τ unendlich klein vor, d. h. läßt man die Centripetalkraft ununterbrochen wirken, ſo wird der Weg wirklich eine krumme Linie. Die Richtungen Ax, Ey, Hz,... nach welchen das Bewegliche fortſchreiten würde, wenn die Centripetalkraft bei der Ankunft deſſelben in A oder in E oder in H... plötzlich zu wirken aufhörte, erſcheinen hiebei als Tangenten der Bahn. Die Geſtalt dieſer hängt von der Stärke der Tangentialkraft, von der Stärke und dem Geſetze der Ab- und Zunahme der Centripetalkraft, und von der Lage des Mittelpunctes der Kräfte ab, kann aber nur durch Hilfe der höheren Analyſis ohne gar viele Umſchweife nachgewieſen werden.

Die höhere Analyſis lehrt, daß wenn die Stärke der Centripetalkraft dem Quadrate der Diſtanz des Beweglichen vom Centralpuncte verkehrt proportionirt iſt, die Bahn eine Kegelſchnittslinie ſey, wovon ein Brennpunct mit dem Centralpuncte zuſammen fällt. Die nähere Beſchaffenheit der Kegelſchnittslinie richtet ſich nach der Intenſität der Centralkraft, der anfänglichen Diſtanz des Beweglichen vom Centralpuncte und nach der Geſchwindigkeit, die ihm die Tangentialkraft ertheilt. Steht aber die Centralkraft mit jener Diſtanz in geradem Verhältniſſe, dann iſt die Bahn eine Ellipſe, die den Centralpunct zum Mittelpuncte hat.

298. Die Dreiecke ACE, EDH, Fig. 125, welche die Verbindungslinie des Centralpunctes mit dem Beweglichen in gleichen Zeittheilchen durchläuft, haben gleiche Flächenräume. Denn zieht man CF, ſo ſind die Dreiecke ACE, ECF gleich, weil ſie auf gleichen Grundlinien ſtehen und einerlei Höhe haben; ferner ſind die Dreiecke ECF, ECH gleich, weil EC und FH parallel ſind, mithin ſind auch die Dreiecke ACE, ECH gleich. Da ſich dieſes von je zwei ſolchen benachbarten Dreiecken ſagen läßt, und ſonach je zwei Sectoren, welche der vom Centralpuncte zum Beweglichen gehende Radiusvector in gleichen Zeiten durchſtreicht, als Summen gleicher Men-

gen gleich großer Dreiecke betrachtet werden können, ſo ergibt ſich die Folgerung, daß bei einer durch Centralbewegung beſchriebenen Bahn der Radiusvector in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume durchwandert, oder was dasſelbe heißt, daß die von dem Radiusvector beſchriebenen Flächenräume den Zeiten, in welchen dieß geſchieht, proportionirt ſind.

Es beſteht alſo bei der Centralbewegung eine Art Gleichförmigkeit, nicht in Betreff der Wege, welche das Bewegliche zurücklegt, ſondern hinſichtlich der Flächenräume, welche der ihm entſprechende, vom Centralpuncte ausgehende Radiusvector durchſtreicht. Man nennt dieſe Eigenſchaft der Centralbewegung die **Erhaltung der Flächen**. Der nachfolgende Lehrſatz zeigt, daß dieſelbe der Centralbewegung ausſchließend zukommt.

299. Läßt ſich bei der Bewegung eines freien Körpers in einer krummen Bahn ein Punct angeben von der Art, daß der von ihm zum Körper gehende Radiusvector in gleichen Zeiten gleiche Sectoren durchläuft, ſo iſt, vorausgeſetzt, daß die Bahn dem genannten Puncte ihre hohle Seite zukehrt, eine den Körper ſtets nach dieſem Puncte hinziehende Kraft vorhanden, mithin die Bewegung eine Centralbewegung. Denn es ſeyen AB, BD Fig. 126 zwei unendlich kleine, in unmittelbar auf einander folgenden gleichen Zeiten beſchriebenen Stücke der Bahn des Beweglichen, wovon das zweite von der Richtung des erſten abweicht. Verlängert man AB bis E, ſo daß BE = AB wird, zieht man ED und macht BF der ED parallel und gleich, ſo zeigt BF die Richtung und Größe des Weges an, den das Bewegliche der Kraft gemäß, die es von ſeiner urſprünglichen Richtung ablenkte, binnen desſelben Zeittheiles beſchrieben hätte, wenn es dieſer Kraft ausſchließend hätte folgen können. Iſt nun C ein Punct, bezüglich deſſen die Dreiecke ACB, BCD gleiche Flächen haben, ſo werden, weil die Dreiecke ACB, BCD gleich groß ſind, auch die Dreiecke BCD, BCE gleich ſeyn müſſen, woraus folgt, daß BC und ED parallel laufen. Es kann alſo die BF, die gleichfalls der ED parallel iſt, keine andere Richtung haben, als eine ſolche, die durch den Punct C hindurchgeht.

Kehrt die krumme Bahn dem Puncte, auf den die vorgenannten Sectoren ſich beziehen, ihre convexe Seite zu, ſo findet zwiſchen ihm und dem Körper keine Anziehung, ſondern Abſtoßung Statt.

300. Bewegt ſich ein Körper in der krummen Linie AB (Fig. 127) vermög Centralkräften, ſo läßt ſich das Verhältniß ſeiner Geſchwindigkeiten in verſchiedenen Puncten A und B ſeiner Bahn folgendermaßen finden: Es komme das Bewegliche in einem Zeittheilchen, das für ſehr klein angenommen wird, von A nach a, und in derſelben Zeit von B nach b; ſo ſind Aa und Bb den Geſchwindigkeiten in A und B proportionirt. Zieht man nun nach dem Mittelpuncte C der Centralkräfte die Linien AC, aC und BC, bC, ſo ſind die Flächenräume der Dreiecke ACa, BCb gleich. Sind Ax und By Tangenten zu A und B, ferner CD auf Ax, CE auf By ſenkrecht; ſo wird der erſtere Flächenraum durch das Product $\frac{1}{2}$ Aa.CD, der andere durch $\frac{1}{2}$ Bb.CE ausgedrückt. Es iſt alſo Aa.CD = Bb.CE, mithin
Aa : Bb = BE : CD, d. i. die Geſchwindigkeiten verhalten ſich verkehrt

wie die Senkrechten, welche vom Mittelpuncte der Kräfte auf die Tangenten des Ortes des Beweglichen gezogen werden. Hieraus erſieht man ſchon, daß die Bewegung in einem Kreiſe, deſſen Mittelpunct zugleich jener der Centralkräfte iſt, gleichförmig, hingegen in einer Ellipſe, deren ein Brennpunct Mittelpunct der Centralkräfte iſt, theils beſchleunigt, theils verzögert ſeyn müſſe.

301. Geſchieht die Bewegung durch Centralkräfte in einem Kreiſe, ſo iſt AC = EC = HC (Fig. 125), alſo auch AE = EH, weil die Sectoren ACE, ECH einerlei Flächen haben, woraus wieder erhellet, daß die Bewegung gleichförmig ſeyn muß. Aber es iſt AE = EF = GH, mithin auch EH = GH. Es ſind alſo die Dreiecke GEH, CEH beide gleichſchenklig, und wegen des gemeinſchaftlichen Winkels an den Grundlinien, nämlich CEH, ähnlich. Hieraus folgt die Proportion EG : EH = EH : EC, welche $EG = \frac{EH^2}{EC}$ gibt. Hierdurch läßt ſich die Größe der Centripetalkraft bei der Bewegung in einem Kreiſe leicht finden. Nennt man nämlich die Geſchwindigkeit des Beweglichen in ſeiner Bahn, d. h. jene, mit welcher es die Wege AE, EH, ... jeden während der Zeit τ durchläuft, c; ferner die Geſchwindigkeit, die ihm in Folge der Einwirkung der ſtoßweiſe thätigen Centralkraft im Puncte E zu Theil wird, und vermöge welcher es für ſich allein binnen der Zeit τ den Weg EG zurücklegen würde, γ; endlich den Halbmeſſer des Kreiſes EC = r: ſo iſt $EH = c\tau$, $EG = \gamma\tau$, mithin $\gamma\tau = \frac{c^2\tau^2}{r}$, woraus $\frac{\gamma}{\tau} = \frac{c^2}{r}$ folgt. Bezeichnet man durch G die Acceleration, welche die Centralkraft hervorbringen würde, wenn ſie eine Zeiteinheit hindurch mit der Stärke fortwirkte, die ſie im Puncte E hat, und ſieht man γ als die Geſchwindigkeit an, welche ſie während der Zeit τ, die als unendlich klein betrachtet werden kann, erzeugt, ſo hat man offenbar (vergl. 33) $G = \frac{\gamma}{\tau}$, alſo $G = \frac{c^2}{r}$. Die Größe der Centripetalkraft p wird durch das Product mG ausgedrückt, worin m die Maſſe des Beweglichen angibt, daher iſt

$$p = \frac{mc^2}{r}$$

die Formel für die Centripetalkraft bei der Kreisbewegung. Dieſelbe Formel läßt ſich auf die Bewegung in jeder anderen Bahn anwenden, wenn r den Krümmungshalbmeſſer für den Punct vorſtellt, in welchem das Bewegliche ſich befindet. Heißt die Zeit, in welcher ein Umlauf im Kreiſe gemacht wird, t, und das Kreisverhältniß π; ſo iſt

$$c = \frac{2\pi r}{t}, \text{ und daher}$$

$$p = \frac{4\pi^2 mr}{t^2}.$$

Bedeuten M, P, R, T dasſelbe für einen zweiten Kreis; ſo iſt

$$P : p = \frac{MR}{T^2} : \frac{mr}{t^2}.$$

302. Nimmt man an $P:p=\frac{M}{R^2}:\frac{m}{r^2}$, ſo erhält man mittelſt

$$P:p=\frac{MR}{T^2}:\frac{mr}{t^2}$$

die Proportion $\frac{M}{R^2}:\frac{m}{r^2}=\frac{MR}{T^2}:\frac{mr}{t^2}$, oder

$$T^2:t^2=R^3:r^3,$$

d. h. wenn ſich die Centripetalkräfte gerade verhalten wie die Maſſen und verkehrt wie die Quadrate der Entfernungen, ſo verhalten ſich die Quadrate der Umlaufszeiten wie die Würfel der Entfernungen. Dieſes gilt auch umgekehrt; denn ſetzt man voraus:

$T^2:t^2=R^3:r^3$, ſo hat man mittelſt

$$P:p=\frac{MR}{T^2}:\frac{mr}{t^2}$$

die neue Proportion $P:p=\frac{M}{R^2}:\frac{m}{r^2}$.

Dieſes Geſetz heißt das Kepler'ſche, weil es der große Kepler nebſt dem 298 erwieſenen, und einem dritten, am 15. Mai 1618 an der Bewegung der Himmelskörper befolgt fand. Die theoretiſchen Sätze über die Centralbewegung verdanken wir dem unſterblichen Newton.

303. Wenn ein Körper auf was immer für eine Weiſe gezwungen wird, ſich in einer krummen Bahn zu bewegen; ſo gibt er, vermöge ſeiner Trägheit, ein Beſtreben kund, ſich von dieſer Bahn zu entfernen. In Folge deſſen äußert er normal gegen die Bahn eine Kraft, welche entweder durch diejenige, die dem Körper fortwährend eine Aenderung ſeiner Richtung ertheilt, und ihn dadurch einen krummen Weg zu nehmen nöthiget, oder falls dem Körper eine feſte Bahn vorgezeichnet iſt, durch den Widerſtand derſelben aufgehoben werden muß. Man nennt die erwähnte Kraft die Fliehkraft oder Schwungkraft. Um die Fliehkraft, ſo wie ſie als reine Aeußerung der Trägheit gegeben iſt, vor Augen zu haben, ſey AB, Fig. 118, ein unendlich kleines, binnen der Zeit τ durchlaufenes Stückchen einer feſten Bahn, welcher ein Bewegliches zu folgen genöthiget iſt, und betrachten wir den Uebergang von dieſem auf ein nächſtes unendlich kleines Stückchen, wobei das Bewegliche, ſtatt während des nächſten Zeittheilchens τ den Weg BE = AB in der Verlängerung von AB zu beſchreiben, die Richtung BC erhält, und (vorausgeſetzt daß keine weitere Kraft ins Spiel trete) die Diagonale des Rechteckes BHEF, nämlich BE durchlauft. Dabei übt offenbar das Bewegliche gegen das Bahntheilchen BF einen Druck p aus, der, wenn man ſich denſelben als bewegende Kraft vorſtellt, das Bewegliche binnen der Zeit τ durch BH geführt hätte. Da der Unterſchied zwiſchen BE und BF aus dem in 286 vorgetragenen Grunde im Vergleiche mit der genannten Linie ſelbſt unendlich klein iſt, ſo kann man BF = BE ſetzen, und ſomit BH als Verlängerung des Halbmeſſers eines durch die Puncte A, B, F geführten Kreiſes betrachten, welcher der Krümmungskreis der Bahn an der Stelle B iſt. Nun aber laſſen ſich hier alle in 301

angeſtellten Betrachtungen wiederholen, und man erhält für den Druck p die Formel $p = \frac{m c^2}{r}$, wobei m die bewegte Maſſe, c deren Geſchwindigkeit und r den Krümmungshalbmeſſer der Bahn vorſtellt. Iſt die dem Beweglichen vorgezeichnete Bahn ein Kreis, ſo iſt die Fliehkraft der Centripetalkraft gleich und entgegengeſetzt, welche das Bewegliche, in ſo fern es in freiem Zuſtande und mit der Geſchwindigkeit c begabt gedacht wird, in dieſer Kreisbahn zu erhalten vermag.

304. Wenn ſich ein Körper um eine Axe dreht, ſo bekommen alle außer derſelben liegenden Theile, der ſich entwickelnden Fliehkraft gemäß, ein Beſtreben, ſich nach einer auf ſie ſenkrechten Richtung von ihr zu entfernen. Sind die Theile eines ſolchen Körpers verſchiebbar, ſo kann dadurch eine Aenderung in der Geſtalt deſſelben oder gar eine Trennung Statt finden. Eine weiche Kugel, die ſich um einen ihrer Durchmeſſer dreht, bekommt eine abgeplattete Geſtalt, weil die Theile, welche in der Ebene des größten, auf der Axe ſenkrechten Kreiſes liegen, eine größere Schwungkraft haben, als diejenigen, welche ſich in einer andern Ebene befinden. Sind die Theile eines ſich drehenden Körpers nicht verſchiebbar, ſo geht aus ihrer Schwungkraft eine Wirkung auf die Axe hervor. Iſt die Maſſe des Körpers dergeſtalt um die Axe herum angeordnet, daß ſich die Wirkungen ſämmtlicher Schwungkräfte der Körpertheile auf die Axe tilgen, wie es der Fall iſt, wenn die Axe vollkommen ſymmetriſch von Maſſe umgeben erſcheint, mithin die Schwungkraft jedes Theilchens durch die gleiche und entgegengeſetzte eines andern Theilchens aufgehoben wird, ſo heißt die Axe eine freie Axe. Es läßt ſich mittelſt höherer Rechnung beweiſen, daß jeder Körper wenigſtens drei freie Axen zulaſſe, die ſich in ſeinem Schwerpuncte rechtwinklig durchſchneiden. Um zwei derſelben erfolgt die Drehung mit Stabilität, d. h. der Körper zeigt, wenn äußere Kräfte ſeine Drehung um eine dieſer Axen zu ſtören ſuchen, ein Beſtreben in ſeinem früheren Zuſtande zu verharren. Der dritten freien Axe kommt aber keine Stabilität zu. Die Axe der Erde, die Axen unſerer gewöhnlichen Schwungräder u. dgl. ſind ſtabile freie Axen.

Dieſes läßt ſich beſonders gut mit einem von Bohnenberger angegebenen Inſtrumente verſinnlichen, das in Fig. 128 abgebildet iſt. Es beſteht aus drei, unter rechten Winkeln gegen einander beweglichen Ringen A, und aus einem innerhalb des kleinſten derſelben angebrachten maſſiven, um ſeine Axe beweglichen, abgeplatteten Sphäroid B. An der Axe deſſelben iſt eine kleine Rolle c angebracht. Gibt man dem inneren Kreiſe, und dadurch auch der Axe der Kugel eine ſchiefe Lage, befeſtiget an einem Stifte der Rolle eine mit einer Schlinge verſehene feine Schnur, wickelt ſie faſt ganz auf, und ſetzt dann durch einen raſchen Zug an dieſem Faden, wodurch man ihn ganz abwickelt, die Kugel in eine ſchnell drehende Bewegung; ſo kann man das Inſtrumentchen frei herumtragen, und die Axe wird, wenn das Sphäroid gehörig äquilibrirt iſt, immer nach derſelben Gegend hinſehen; ſtößt man mit dem Finger auf den Umfang des innerſten Ringes, ſo fühlt man einen bedeutenden Widerſtand, die Axe läßt ſich nicht leicht aus ihrer Lage bringen, während ſie, wenn der Körper im Zuſtande der

Ruhe iſt, der geringſten Kraft weicht; es ſcheint, als ob die Schwungkraft jedes Theilchen in der Ebene zu erhalten ſtrebe, in der es ſich dreht. Sucht man durch kleine Stöße die Neigung des innerſten Ringes zu ändern, ſo bewegt ſich der mittlere Ring und zwar, wenn der Stoß von oben herab geht, dem Sinne der Drehung des Körpers entgegen; ſtößt man gegen den mittleren Ring, um ihn in eine andere Verticalebene zu ſtellen, ſo ändert ſich die Neigung des innerſten Ringes. Bringt man am unteren Theile des innerſten Ringes ein kleines Gewichtchen an, welches denſelben, wenn kein Drehen Statt findet, ſo herabzieht, daß die Axe der Kugel vertical ſteht, neigt dann den inneren Kreis gegen den Horizont und erregt die drehende Bewegung; ſo nimmt die Axe nicht alſogleich die verticale Lage an, ſondern bewegt ſich nach einer Richtung, welche der Richtung der Rotation der Kugel entgegengeſetzt iſt, und zwar mit einer deſto größeren Geſchwindigkeit, je langſamer die Axendrehung der Kugel wird (Gilb. Ann. 60. 60). — Aus der Fliehkraft erklären ſich: das Spritzen naſſer Räder oder der Schleifſteine beim Umdrehen, das heftige Herumſchleudern der Stücke eines gebrochenen, im Laufe begriffenen Rades oder Mühlſteines, das oftmalige Losreißen eines Hammers vom Stiele während des Schwunges; Heß's Waſſermaſchine [ein Syſtem offener, um eine verticale Axe beweglicher und gegen dieſelbe geneigter Röhren, die unten im Waſſer ſtehen, oben aber in eine Rinne ſich münden (Fig. 129)]; die Wirkung der Schleuder, der Ventilatoren, und die vielerlei Erſcheinungen, welche mittelſt der ſogenannten Centralmaſchine hervorgebracht werden. Siehe über Centralbewegung: *Newtoni philosophiae naturalis principia mathematica. Lond.* 1687.

D. Stoß der Körper.

305. Wenn ein Körper an eine bewegliche Maſſe ſtößt, ſo erleidet er nicht nur eine Veränderung, ſondern bewirkt auch eine an der geſtoßenen Maſſe. Die Größe und Beſchaffenheit dieſer Veränderung hängt von der Richtung der bewegten und zuſammenſtoßenden Körper, von ihrer Geſchwindigkeit, Maſſe und Geſtalt, ja auch von ihrer Elaſticität und ihrem Aggregationszuſtande ab. Der Stoß heißt gerade, wenn die Richtung der Bewegung der Körper auf der Ebene, wo ſie einander im Anfange des Stoßes berühren, ſenkrecht iſt, ſonſt ſchief; man nennt ihn central, wenn die Richtung der Körper vor dem Stoße durch deren Schwerpunct geht, excentriſch, wenn dieſes nicht der Fall iſt. Bei kugelförmigen, homogenen Körpern, die hier vorzüglich betrachtet werden ſollen, iſt jeder gerade Stoß auch ein centraler.

306. Wie der Stoß auch beſchaffen ſeyn mag, ſo geht doch immer eine Veränderung in der Bewegung der Körper vor. Da häufig bei einer ſolchen Veränderung die Geſchwindigkeit aller Theile eines Körpers bis zu einem beſtimmten Grade wachſen muß, und dieſes nicht augenblicklich geſchehen kann; ſo wird dazu auch eine gewiſſe Zeit erfordert. Wirkt nun eine Maſſe auf eine andere zu ſchnell, als daß ſich die Geſchwindigkeit in alle Theile bis zum gehörigen Grade in rechter Zeit verbreiten könnte; ſo werden die unmittelbar getroffenen Puncte des geſtoßenen Körpers die ganze Gewalt des Stoßes aushalten müſſen.

16*

Iſt der Zuſammenhang der Theile nicht groß genug, um dieſer Gewalt zu widerſtehen, ſo erfolgt eine Trennung.

Dieſes erläutern unzählige Erſcheinungen. Z. B. ein Bret, welches ſo aufgeſtellt worden, daß es durch einen mäßigen Druck umgeworfen werden kann, bleibt ſtehen, wird aber durchlöchert, wenn es von einer ſcharfen Flintenkugel getroffen wird; eine Glastafel wird von einer ſolchen Kugel durchlöchert, ohne zerſplittert zu werden, während letzteres bei einem ſchwächeren Drucke, der eine Trennung der Glastheile zur Folge hat, nie unterbleibt; ein ſchwacher Faden, der einen Stein hebt, wenn man dabei langſam anzieht, zerreißt, wenn man beim Anziehen zu eilig verfährt; Schießpulver in ein dazu beſtimmtes Felsloch geſchüttet und mit loſem Sande bedeckt, zerſprengt den Fels, wenn es angezündet wird, u. a. m.

307. Sind M und m *unelaſtiſche* Maſſen, die ſich mit den Geſchwindigkeiten C und c, und zwar *gerade* und *central* ſtoßen; ſo iſt MC die Größe der Bewegung der erſten, mc die Größe der Bewegung der zweiten Maſſe, und es iſt einerlei, ob M mit der Geſchwindigkeit C auf m wirkt, oder ob die Kraft, welche der Maſſe M die Geſchwindigkeit C ertheilte, unmittelbar ihre Wirkung auf m äußert. Bewegen ſich nun M und m gegen einander, und es iſt $MC = mc$, ſo ruhen beide Maſſen nach dem Stoße. Iſt aber $MC > mc$, ſo bleibt von den Kräften MC und mc nach dem Stoße noch $MC - mc$, und dieſe Kraft muß die Maſſe $M + m$ nach der Richtung, welche der Maſſe M vor dem Stoße eigen war, fortbewegen. Geſchieht dieſes mit der Geſchwindigkeit x, ſo iſt

$$MC - mc = (M + m)\,x, \text{ oder } \frac{MC - mc}{M + m} = x.$$

Bewegen ſich beide Maſſen in derſelben Richtung, ſo muß die anſtoßende Maſſe M der geſtoßenen m Bewegung mittheilen, dadurch verliert ſie aber ſelbſt, und zwar ſo lange, bis beide Maſſen mit gleicher Geſchwindigkeit fortſchreiten. Heißt dieſe Geſchwindigkeit x, ſo iſt $MC + mc$ das Maß der Geſammtkraft vor dem Stoße, $(M + m)\,x$ dasſelbe nach dem Stoße, und daher $M\,(C - x)$ der Verluſt an bewegender Kraft bei der Maſſe M, $m\,(x - c)$ der Gewinn bei der Maſſe m, und

$$M\,(C - x) = m\,(x - c), \text{ oder } x = \frac{MC + mc}{M + m}.$$

Für $c = 0$ wird $x = \frac{MC}{M + m}$, für $M = m$ wird $x = \frac{C + c}{2}$.

Alle möglichen Fälle ſtellt die Formel $x = \frac{MC + mc}{M + m}$ dar, wo c poſitiv oder negativ genommen wird, je nachdem es mit C der Richtung nach übereinſtimmt, oder ihr entgegengeſetzt iſt, d. i. je nachdem ſich beide Maſſen vor dem Stoße nach einer oder nach entgegengeſetzten Richtungen bewegen.

308. Aus den Geſetzen des Stoßes für unelaſtiſche Maſſen laſſen ſich leicht jene ableiten, welche beim Stoße *elaſtiſcher* Körper Statt finden; man braucht nur den Einfluß der Elaſticität mit in Rechnung

zu bringen. Um die Beſchaffenheit dieſes Einfluſſes einzuſehen, betrachte man, was ſich ereignet, wenn ein elaſtiſcher Körper an eine feſte, unbewegliche Wand anſtößt. Sobald der Stoß beginnt, wird der Körper zuſammengedrückt, ſo daß ſein auf der getroffenen Fläche ſenkrechter Durchmeſſer vermindert wird; dabei erleidet er dieſelbe Veränderung, als wenn er feſt wäre, d. i. er verliert ſtufenweiſe ſeine Bewegung. So wie ſeine Geſchwindigkeit vermindert wird, läßt auch der Druck auf die Fläche nach; wenn er dieſe ganz eingebüßt hat, fängt er an, ſeine vorige Geſtalt wieder anzunehmen und ſich auszudehnen. Dadurch erlangt er die vorhin verlorne Größe der Bewegung von Neuem, aber nach entgegengeſetzter Richtung, vorausgeſetzt, daß er vollkommen elaſtiſch iſt. Wäre dieſes nicht der Fall, ſo würde er nur einen Theil der verlornen Größe der Bewegung wieder erlangen.

309. Stoßen zwei elaſtiſche Maſſen (Fig. 130) M und m zuſammen, ſo iſt leicht einzuſehen, daß jede für ſich eine Veränderung erleidet, die jener ähnlich iſt, welche vorhin angegeben wurde. Geſetzt die Maſſen M und m ſchreiten vor dem Stoße mit den Geſchwindigkeiten C und c fort, wo c negativ iſt, wenn m eine der M entgegengeſetzte Richtung hat. Berühren ſich beim Beginne des Stoßes die Maſſen in A, ſo mag B A C eine Ebene ſeyn, die auf der Richtung der Bewegung der Körper M und m ſenkrecht ſteht, und gegen welche der Stoß beider Maſſen gerichtet iſt. Offenbar iſt hier alles ſo wie vorhin (308), nur mit dem Unterſchiede, daß die Ebene B A C ſelbſt beweglich gedacht werden muß. Deßhalb wird auch die Geſchwindigkeit des anſtoßenden Körpers in dem Augenblicke, wo die Zuſammendrückung in Ausdehnung übergeht, nur in ſo weit verloren gegangen ſeyn, bis ſie der Geſchwindigkeit der Ebene B A C oder des geſtoßenen Körpers gleich kommt; denn in dieſem Falle iſt es gerade ſo, als wenn die anſtoßende Maſſe und die Ebene B A C gegen einander in Ruhe wären. Iſt x die Geſchwindigkeit der Ebene B A C, im Augenblicke der größten Zuſammendrückung beider Maſſen, d. h. ſind bis dahin die Bewegungsgrößen M C und m c der Maſſen M und m in M x und m x übergegangen, ſo erleidet, in Folge des Ausdehnens, die Maſſe M den bis zur größten Zuſammendrückung eingetretenen Verluſt M (C — x) an Bewegungsgröße noch einmal, während der Maſſe m der Gewinn an Bewegungsgröße m (x — c) noch einmal zu Theil wird. Sind C′, c′ die Geſchwindigkeiten der Maſſen M, m nach dem Stoße, ſo iſt dieſem gemäß offenbar

$$C' = x - (C - x) = 2x - C,$$
$$c' = x + (x - c) = 2x - c.$$

Aus dieſen Formeln ergeben ſich mehrere wichtige Folgerungen. Setzt man M = m, ſo erhält man wegen $x = \frac{C + c}{2}$ (307) C′ = c und c′ = C; d. i. elaſtiſche Körper von gleicher Maſſe vertauſchen durch den Stoß ihre Geſchwindigkeiten.

Ruht die Maſſe m, ſo iſt wegen $x = \frac{MC}{M + m}$ und c = 0,

$$C' = \frac{(M - m)\,C}{M + m}, \quad c' = \frac{2\,MC}{M + m}.$$

Der Werth von C' iſt nun poſitiv oder negativ, je nachdem $M > m$ oder $M < m$ iſt; daher werden auch die Richtungen der Bewegung des anſtoßenden Körpers für die beiden Fälle einander entgegengeſetzt ſeyn.

Aus den obigen allgemeinen Werthen für C' und c folgt

$$c' - C' = C - c,$$

d. i. die relative Geſchwindigkeit beider Körper nach dem Stoße iſt der relativen Geſchwindigkeit vor dem Stoße gleich, aber der Richtung nach entgegengeſetzt.

Dieſelben Werthe von C' und c' geben:

$$MC'^2 + mc'^2 = 4x^2 (M+m) - 4x (MC + mc) + MC^2 + mc^2,$$
$$= 4x [x (M+m) - MC - mc] + MC^2 + mc^2.$$

Aber es iſt (307)

$$x (M+m) - MC - mc = 0; \text{ daher}$$
$$MC'^2 + mc'^2 = MC^2 + mc^2,$$

d. i. beim Stoße vollkommen elaſtiſcher Körper iſt die Summe der ſogenannten lebendigen Kräfte vor und nach dem Stoße gleich. Letzteres iſt ein beſonderer Fall des ſogenannten Princips der Erhaltung lebendiger Kräfte.

Die Geſetze des Stoßes wurden faſt gleichzeitig von Wallis, Huyghens und Wren 1668 entdeckt.

310. Um die Uebereinſtimmung dieſer Geſetze mit der Erfahrung zu prüfen, bedient man ſich der ſogenannten Stoßmaſchine, wie ſie Nollet und s'Graveſande angegeben haben. Das Weſentlichſte einer ſolchen Geräthſchaft beſteht in mehreren, an gleich langen Fäden AB und CD (Fig. 131) hängenden Kugeln, die ſo neben einander ſtehen, daß ihre Körper B und D einander berühren und ihre Mittelpuncte in derſelben Höhe liegen. Hinter ihnen befindet ſich ein Kreisbogen EF, der von ſeinem unterſten Puncte angefangen nach aufwärts zu beiden Seiten in Grade getheilt iſt. Wird einer dieſer Körper bis G gehoben und dann frei gelaſſen, ſo erlangt er beim Fallen durch den Bogen GB eine Geſchwindigkeit, die man nach 286 finden, und gleich am Gradbogen ſelbſt ein= für allemal anmerken kann. Zu Verſuchen über den Stoß feſter, unelaſtiſcher Körper nimmt man Maſſen aus trockenem Thone oder Mehlteig, für elaſtiſche wählt man Elfenbein oder Guajakholz. Hängt man mehrere elaſtiſche Kugeln von gleichem Durchmeſſer neben einander, hebt dann eine gewiſſe Anzahl auf, und läßt ſie zugleich herabfallen, damit ſie an die übrigen anſtoßen; ſo fliegen auf der entgegengeſetzten Seite gerade ſo viele weg, als auf der andern gehoben wurden. Der Grund dieſer Erſcheinung liegt in 309. Wählt man ſolche Kugeln, die von einer Seite gegen die andere beſtändig an Größe zunehmen, und man ertheilt der größten derſelben eine gewiſſe Geſchwindigkeit; ſo muß die zweite dadurch ſchon eine größere Geſchwindigkeit erlangen, die dritte eine noch größere, und ſo fort bis zur kleinſten und letzten, welche die größte Geſchwindigkeit haben wird.

Huyghens führt in ſeinem Werke *de motu corporum ex percussione (op. posth. Tom. II. pag.* 104) folgendes Beiſpiel an: Hängen 100 elaſtiſche Kugeln neben einander, deren Maſſen wachſen, wie die Zahlen

1, 2, 4, 8 ꝛc., und es ſtößt die größte mit der Geſchwindigkeit 1 an die nächſtfolgende; ſo muß die letzte mit einer Geſchwindigkeit fortfliegen, die nahe durch 2338500000000 ausgedrückt wird.

311. Beim ſchiefen Stoße läßt ſich die Wirkung der bewegten Körper immer in zwei auflöſen, wovon eine für ſich einen geraden Stoß gibt, während die andere gar nichts zum Stoße beiträgt. Betrachtet man daher die erſtere für ſich allein, und findet die Geſchwindigkeit und Richtung nach dem Stoße, die daraus hervorgehen würde, ſetzt dieſe mit der vorhin außer Acht gelaſſenen zuſammen; ſo erhält man die wahre Richtung und Geſchwindigkeit nach dem Stoße. Geſetzt, es bewegte ſich eine unelaſtiſche Maſſe nach der Richtung AB (Fig. 132) gegen die unbewegliche Ebene CD, und es ſey ihre Geſchwindigkeit durch BE ausgedrückt. Löſt man BE in die mit CD parallele BF und in die auf ihr ſenkrechte BG auf; ſo ſieht man, daß letztere durch den Widerſtand der Ebene aufgehoben wird, und daß ſich der Körper nach dem Stoße längs der CD mit der Geſchwindigkeit BF fortbewegen muß. Iſt der Körper elaſtiſch, ſo wird im Momente des Zuſammendrückens BG aufgehoben, aber im Momente der Ausdehnung eine Geſchwindigkeit nach entgegengeſetzter Richtung erzeugt, die bei vollkommener Elaſticität des Körpers gleich BG, widrigenfalls aber kleiner iſt als BG. Iſt nun in der Vorausſetzung des erſteren Falles BH = BG, ſo nimmt der Körper nach dem Stoße die Richtung der Diagonale BI des Parallelogramms BHIF, und man kann leicht beweiſen, daß ABC = IBD iſt. Geſchähe der Stoß auf die gekrümmte Fläche KBL, ſo müßte dasſelbe wie vorhin geſchehen, wenn CD die Berührungsebene an dem getroffenen Puncte B von KL vorſtellt. — Sind M und m (Fig. 133) Maſſen, wovon eine die Richtung Mx, die andere die Richtung my hat, ſo daß ſie im Anfange des Stoßes die in der Figur gezeichnete Lage gegen einander haben, und ſtellen MA und mB die Geſchwindigkeiten der Maſſen vor dem Stoße vor; ſo ziehe man durch die Mittelpuncte der Maſſen M und m die gerade Linie CD, und zerlege MA in die auf CD ſenkrechte MG und in die mit ihr parallele MD, eben ſo mB in mC und mH. Die Kräfte mC und MD bewirken einen geraden Stoß, wozu mH und MG gar nichts beitragen. Erlangt M durch den Stoß die Geſchwindigkeit ME, ſo ſetze man ſie mit MG zuſammen, indem man AG bis F verlängert, ſo daß GF = ME wird, und es iſt MF die Richtung der Maſſe M nach dem Stoße. Auf gleiche Weiſe findet man die Richtung der Maſſe m.

312. Der excentriſche Stoß bewirkt eine fortſchreitende Bewegung, die ſo vor ſich geht, als wäre der Stoß central, überdieß aber noch eine drehende um den Mittelpunct der Maſſe des geſtoßenen Körpers. Es iſt dieß eine Folge einer allgemeinen Eigenſchaft der Bewegung jedes Syſtemes materieller Puncte, die darin beſteht, daß, wenn Kräfte auf gegebene Maſſen einwirken, der gemeinſchaftliche Schwerpunct (Mittelpunct) derſelben ſich ſo bewegt, als ob in ihm alle Maſſen vereinigt wären, und die Kräfte ihren eigenthümlichen

Richtungen parallel auf ihn unmittelbar einwirkten. Man nennt dieſen Satz das Princip der Erhaltung der Bewegung des Schwerpunctes.

Ueber den Stoß findet man mehr in *s'Gravesande elementa physicae. Leidae.* 1742. *Tom. I. p.* 234 *et s.* Die erſten Originalaufſätze enthalten: *Walisii tractatus de percussione. Oxon.* 1669. *Hugenii op. posth. Lugd. Bat.* 1703. *p.* 369. *et s.*

Zweites Kapitel.

Hinderniſſe der Bewegung und ihrer Wirkungen.

313. Die Erfahrung lehrt, daß die Bewegungen in der Natur nicht ſo vor ſich gehen, wie es die bisher erörterten Geſetze verlangen, und es den bewegenden Kräften angemeſſen wäre. Der Grund hievon liegt darin, daß die Tendenz zur Bewegung hindernde Kräfte hervorruft. Die Körper ſind nämlich niemals ſo glatt, daß wenn einer auf dem andern ſich befindet, ſie von einander ſcharf geſondert bleiben, ſondern es dringen die Erhöhungen des einen in die Vertiefungen des andern ein, und ſie haften dann feſt an einander. Soll nun eine Bewegung des einen über den andern eintreten, ſo müſſen die Erhöhungen losgeriſſen oder verſchoben werden, oder der Körper muß ſich heben, um die Erhöhungen ſeiner Unterlage zu überſteigen. Dazu iſt natürlich ein bedeutender Kraftaufwand erforderlich. Dieſer iſt es, der die Größe des Hinderniſſes, das hier durch das Wort Reibung bezeichnet wird, mißt. Jeder Körper befindet ſich in der Regel in der Luft, im Waſſer oder in irgend einer andern Flüſſigkeit, die man ſein Mittel nennt. Soll er in demſelben bewegt werden, ſo muß er das Mittel erſt beſeitigen oder vor ſich hinſchieben, mithin deſſen Widerſtand überwältigen. Auch dazu gehört ein beträchtlicher Kraftaufwand. Endlich wird durch Biegſamkeit, Elaſticität, Adhäſion der Körper u. dgl. noch manches andere Hinderniß begründet. So z. B. wird ein ſchwerer kugelförmiger Körper, in Folge ſeiner Elaſticität, flach gedrückt, und verhält ſich beim Fortrollen einem Polyeder ähnlich. Elaſtiſche, biegſame oder weiche Unterlagen erhalten dieſer ihrer Beſchaffenheit gemäß Vertiefungen, welche dem Fortſchieben der Körper auf ihnen im Wege ſtehen; Stricke widerſtehen, vermöge ihrer Steifheit, wenn ſie gerade ſind, der Biegung; wenn ſie gebogen ſind, der Annahme einer geraden Form. Die Haupthinderniſſe ſind aber die Reibung und der Widerſtand des Mittels, und von dieſen ſoll nun ausführlicher die Rede ſeyn.

314. Die Reibung äußert ſich entweder an der Stelle des Körpers, auf welche die bewegende Kraft unmittelbar einwirkt, und ſie vermindert deßhalb dieſe Kraft um einen Theil, welcher dem Widerſtande an Größe gleichkommt, oder es zeigt ſich die Reibung an einem Orte, der nicht in der Richtung der Kraft liegt, ſo daß die Reibung als eine Laſt auftritt, welche die Kraft mittelſt einer Ma=

ſchine, z. B. mittelſt eines Hebelarmes, zu bekämpfen hat, wobei der Verluſt an Kraft geringer ſeyn kann, als die Größe der Reibung ſelbſt. Man nennt die Reibung im erſten Falle die abſolute, im zweiten die relative, und ſieht ſtets die Größe der Kraft, welche ihr das Gleichgewicht hält, als ihr Maß an.

315. Ueber die Reibung hat vorzüglich Coulomb genaue und lehrreiche Verſuche angeſtellt. Er bediente ſich dazu einer Vorrichtung, die ſchon früher von Muſſchenbroek, wiewohl unvollkommener, zu gleichem Zwecke angewendet wurde, und Reibungsmeſſer (Tribometer) heißt. Sie beſteht (Fig. 134) aus einem ſehr feſten, horizontalen Tiſch A, auf dem der Länge nach zwei Holzſtücke a befeſtiget ſind, die über denſelben beiderſeits hinausragen, und auf einer Seite eine Rolle b, auf der andern einen Haſpel c haben. Ueber dieſe Holzſtücke wird eine möglichſt geglättete Bohle B ſo gelegt, daß ihre Oberfläche genau horizontal iſt. Hierauf kommt eine Schleife C zu liegen, die an jeder der zwei einander gegenüberſtehenden Seiten Haken hat, wovon der eine dazu dient, um die Schnur zu befeſtigen, welche über die Rolle geht, und eine Wagſchale zur Aufnahme derjenigen Gewichte trägt, die nöthig ſind, um die Schleife über die Bohle hingleiten zu machen, der andere, um mittelſt einer zweiten Schnur und des vorhin erwähnten Haſpels die Schleife wieder zurückführen zu können. Um Reibungsverſuche unter möglichſt abgeänderten Umſtänden machen zu können, wählte Coulomb Bohlen von verſchiedenem Materiale, beſonders von Holz und Metall als Unterlage, und eben ſo mannigfaltige Schleifen, ließ bald beide aus demſelben, bald jedes aus einem andern Stoffe beſtehen, änderte das Gewicht der Schleife und die Menge der Berührungspuncte mit der Unterlage verſchieden ab, ließ ſie bald ungeſchmiert, bald mit Schmiere verſehen über einander gleiten, unterſuchte die Reibung einmal gleich, nachdem die Schleife auf die Bohle gelegt worden war, dann aber einige Zeit ſpäter, nachdem ſie in Berührung gekommen waren, ſowohl wenn ſie von Ruhe in Bewegung übergingen, als während der Bewegung ſelbſt; er ließ die Bewegung bald mit größerer, bald mit kleinerer Geſchwindigkeit vor ſich gehen, und beſtimmte bei jedem dieſer Verſuche den Reibungsexponenten, d. i. das Verhältniß des Druckes zu der Kraft, mit welcher ſich der Körper zu bewegen anfing. Coulomb dehnte ſeine Verſuche auch auf die Reibung in Pfannen aus, indem er eine Rolle mit wohl abgerundeten Zapfen in Pfannen von verſchiedenem Materiale ſich drehen ließ, und die Größe der Reibung beſtimmte.

Viele von Coulomb's Vorgängern in der Unterſuchung derſelben Sache, z. B. Amontons, Bilfinger, bedienten ſich dazu einer ſchiefen Ebene mit veränderlichem Erhöhungswinkel. Sie legten den Körper, deſſen Reibung unterſucht werden ſollte, auf dieſe Ebene, und vergrößerten den Neigungswinkel ſo lange, bis der Körper anfing, ſich abwärts zu bewegen. Heißt man dieſen Winkel a, den Reibungsexponenten n, das Gewicht des Körpers P; ſo iſt die Größe des Druckes, den der Körper auf die ſchiefe Ebene ausübt, $P \cos a$, mithin die Größe

der Reibung $n P \cos a$, die Kraft, mit welcher er längs der ſchiefen Ebene hinabgetrieben wird, $P \sin a$. Da nun in dem Augenblicke, wo die Bewegung beginnt, die Reibung nahe der Kraft gleich iſt, mit welcher der Körper hinabzugleiten ſucht; ſo hat man

$$P \sin a = n P \cos a, \text{ das iſt: } n = \tang a.$$

316. Die Reſultate dieſer Verſuche ſind folgende: 1) Die Größe der Reibung iſt, bei übrigens gleichen Umſtänden, dem Drucke proportionirt, der Körper mag ruhen, oder ſich mit was immer für einer Geſchwindigkeit bewegen; nur bei faſerigen Körpern nimmt die Reibung ab, wenn der Druck wächſt. 2) Sie wächſt mit der Zeit der Berührung, doch ſo, daß ſie nach einer gewiſſen Zeit den größten Werth erlangt. Dieſes geſchieht bei Metall auf Metall faſt augenblicklich, bei Holz auf Holz nach einigen Minuten, bei Holz auf Metall erſt nach Tagen. 3) Sie iſt deſto größer, je rauher die ſich berührenden Flächen ſind; doch kann ſie auch eine zu ſtrenge Politur vermehren. Bei mäßiger Glätte iſt der Reibungsexponent $^1/_3$. 4) Bei harten Körpern iſt die Reibung von der Größe der Berührungsfläche unabhängig, bei weichen und faſerigen wächſt ſie mit der Berührungsfläche. 5) Beim Uebergange aus der Ruhe in Bewegung beträgt die Reibung mehr als während der Bewegung. 6) Die Geſchwindigkeit hat, wenn ſie nicht ſehr groß iſt, keinen bedeutenden Einfluß auf die Reibung, ſo lange ſich Holzarten oder Metalle ohne Schmiere auf einander reiben; bei Körpern verſchiedener Art, z. B. bei Holz auf Metall, wächſt die Reibung beinahe in einer geometriſchen Progreſſion, wenn die Geſchwindigkeiten in einer arithmetiſchen zunehmen. 7) Gleichartige Körper reiben ſich gewöhnlich ſtärker als ungleichartige, aber auch unter ungleichartigen findet ein bedeutender Unterſchied Statt. So reibt ſich z. B. Stahl am wenigſten auf Zink, mehr auf Meſſing, noch mehr auf Blei oder Kupfer, am meiſten auf Zinn. 8) Cylindriſche und runde Körper reiben ſich weniger als ebene, und würden es noch weniger thun, wenn ſie nicht platt gedrückt würden. 9) Holz reibt ſich auf Holz minder, wenn ſich die Faſern durchkreuzen, als wenn ſie parallel laufen. 10) Feuchtigkeit vermehrt die Reibung der Hölzer, Hitze die der Metalle. 11) Schmiermittel vermindern die Reibung, wenn ſie zweckmäßig angewendet und oft genug erneuert werden. Für verſchiedene Körper thun auch verſchiedene Schmiermittel die beſten Dienſte.

317. Aus dieſen Geſetzen ergeben ſich auch die Mittel, welche uns zu Gebote ſtehen, um die Reibung zu vermindern. Dieſe ſind: Glätten der Oberflächen, Verminderung des Gewichtes des bewegten Körpers, ſo viel es andere Rückſichten zulaſſen, Vermeidung der Gleichartigkeit der Körper, die ſich reiben, Umänderung der gleitenden Bewegung in eine rollende und zweckmäßige Anwendung der Schmiermittel. Hierauf beruhen alle Vorrichtungen, die zur Verminderung der Reibung angewendet werden, z. B. der Gebrauch der Walzen, der Reibungsrollen, der Garnet'ſchen Räder u. dgl. m.

Die Reibung, von einer Seite ein natürliches Uebel, iſt von der anderen zu verſchiedenen Zwecken nützlich. Mittelſt der Reibung ſtehen

Körper ſelbſt auf einer ſchiefen Ebene feſt, es laſſen ſich Körper zuſammennageln, zuſammenſchrauben, ſchnelle Bewegungen vermindern, wie dieſes z. B. beim gewöhnlichen Anheften der Schiffe ohne Anker, beim Hinablaſſen ſchwerer Fäſſer in Keller geſchieht. Ueber die Reibung ſiehe: *Architectura hydraulica* von Prony (aus dem Franz. von Langsdorf). Frankf. a. M. 1795. 1. Bd. S. 504 u. f. Metternich über die Reibung. Frankf. a. M. 1789. Bevan in den Jahrb. des k. k. polyt Inſtitutes. Bd 17.

318. Die Größe des Widerſtandes, den die gewöhnlichen Mittel, die Luft, das Waſſer ꝛc. gegen darin ſich bewegende Körper ausüben, hat man theils durch Verſuche, theils durch Rechnung auszumitteln geſucht. Mit letzterer haben ſich die größten Mathematiker beſchäftiget, ohne jedoch bisher den Gegenſtand völlig erledigt zu haben. Offenbar hängt dieſer Widerſtand von der Größe, Geſtalt und Geſchwindigkeit des bewegten Körpers und von der Dichte und dem Grade der Flüſſigkeit des Mittels ab; allein die Formeln, durch welche man das Geſetz dieſer Abhängigkeit ausgedrückt hat, ſtimmen mit der Erfahrung nicht genügend überein. So ſetzt man gewöhnlich, bei übrigens gleichen Umſtänden, den Widerſtand des Mittels dem Quadrate der Geſchwindigkeit des bewegten Körpers proportional. Die Erfahrung harmonirt mit dieſem Geſetze nur bei mittleren Geſchwindigkeiten, bei größeren und bei ſehr kleinen weicht ſie ſehr davon ab, und zwar im erſteren Falle beſonders deßhalb, weil die verdrängte Flüſſigkeit auch nur mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit den vom bewegten Körper verlaſſenen Platz wieder einnimmt, und daher hinter einer ſehr ſchnell bewegten Maſſe gleichſam ein leerer Raum entſteht. Dieſes iſt bei der Bewegung in der Luft der Fall, ſobald die Geſchwindigkeit des bewegten Körpers etwa 800 Fuß überſteigt.

In dem Widerſtande des Mittels liegt der Grund, warum man Schiffe vorne nach der Richtung des Kieles enger werden läßt, warum ein Schnellſegler ganz anders eingerichtet ſeyn muß, als ein Schiff, das viel zu faſſen beſtimmt iſt, warum ein Schiff nach der Länge ſo leicht, nach der Breite ſo ſchwer beweglich iſt. Auch die Wirkung des Steuerruders, die Art Bewegung eines Schiffes unter der Einwirkung des Windes beruht darauf. Einem Vogel kommt ſein äußerer Bau beim Fliegen, einem Fiſche eben derſelbe beim Schwimmen ſehr zu Statten; ein ſchnell vorwärts ſchreitender Menſch ſucht ſich, beſonders wenn er gegen den Wind geht, durch Vorwärtsneigen des Kopfes dieſes Vortheiles einigermaßen theilhaftig zu machen. Von Nutzen iſt dieſer Widerſtand beim Fliegen, Schwimmen, beim Gebrauche eines Fallſchirmes. Eine vortreffliche Sammlung von Unterſuchungen über dieſen Artikel findet man in: *Elementi d'Idraulica di Giuseppe Venturoli. Milano,* 1817. *p.*221 *e. s. Euleri scientia navalis. Petr.* 1794. *Tom. I. p.* 201 *e. s.*

319. Die hier erwähnten widerſtehenden Kräfte ſind, wie bereits oben erwähnt wurde, Urſache, daß die Bewegungen der Körper in der Natur oft ſo bedeutend von den Geſetzen abweichen, die früher aufgeſtellt wurden. Wenn in einer Maſchine zwiſchen Kraft und Laſt Gleichgewicht herrſcht, ſo ſoll, der reinen Theorie nach, jeder Zuſatz zur Kraft ſchon eine Bewegung zur Folge haben. Dieſes iſt aber

nicht der Fall, und die Urſache dieſer Erſcheinung iſt die Wirkung der widerſtehenden Kräfte. Erſt wenn die Kraft um ſo viel vermehrt worden iſt, daß nach Abzug jenes Theiles, der verwendet wird, um der Laſt und den Hinderniſſen das Gleichgewicht zu halten, noch etwas übrig bleibt, erfolgt eine Bewegung. Wiewohl dieſe Kraft, welche man Ueberwucht zu nennen pflegt, beſtändig wirkt; ſo bekommt doch die Maſchine keine gleichförmig beſchleunigte Bewegung, ſondern nimmt bald nach Beginn der Bewegung einen gleichförmigen Gang an. Die Urſache liegt meiſtens darin, daß mit zunehmender Geſchwindigkeit auch die widerſtehenden Kräfte wachſen.

320. Wenn eine Kraft momentan auf einen Körper wirkt, ſo bewegt dieſer ſich auch nicht gleichförmig und beſtändig fort, wie es ſeyn müßte, wenn dieſe Bewegung ungehindert vor ſich gehen könnte, ſondern er kommt nach einiger Zeit in Ruhe, nachdem ſeine Geſchwindigkeit ſtufenweiſe abgenommen hat.

321. Der freie Fall ſchwerer Körper iſt auch in den in der Natur vorkommenden Fällen nicht gleichförmig beſchleunigt, ſondern nähert ſich, in einem Mittel von gleicher Dichte, der gleichförmigen Bewegung immer mehr, ohne ſie doch je zu erreichen. In Mitteln von zunehmender Dichte, z. B. in der Luft, kann die Bewegung gleichförmig, ja wohl gar verzögert werden, wie wir dieſes an fallenden Papierſchnitzchen oder Federn ſehen können. Dem Widerſtande der Luft muß es auch zugeſchrieben werden, daß nicht alle Körper von derſelben Höhe gleich ſchnell zur Erde fallen; der dichtere kann den Widerſtand leichter überwinden als der minder dichte, weil er unter demſelben Volum, mithin bei demſelben Widerſtande des Mittels, mehr bewegende Kraft hat. Indeß wird ſelbſt der dichteſte Körper, wenn man ihn ſehr fein zertheilt hat, nicht mehr den Widerſtand überwältigen können, weil die Oberfläche eines Körpers, von welcher der Widerſtand mitunter abhängt, in einem geringeren Verhältniſſe abnimmt, als die Maſſe, durch welche er überwältiget werden ſoll. Hierauf beruht das Schlemmen. Die Bewegung eines ſchweren Körpers über eine ſchiefe Ebene muß offenbar noch mehr von der gleichförmig beſchleunigten abweichen, weil zum Widerſtande des Mittels auch noch die Reibung kommt. Ein Pendel, das ohne widerſtehende Kräfte ein wahres mobile perpetuum abgeben könnte, verliert dieſen Vorzug bloß durch die Einwirkung ſolcher Kräfte. Es wird nämlich durch den Widerſtand der Luft und durch die Reibung an der Axe dahin gebracht, daß es, wenn es auch von C (Fig. 119) herabgefallen, nicht wieder bis H ſteigt, und noch weniger wieder bis C zurückkommt. Es beſchreibt vielmehr immer kleinere Bögen, bis es endlich ganz in Ruhe kommt. Man kann aber doch bei zweckmäßiger Einrichtung die Bewegung mehrere Stunden anhaltend machen.

322. Daß die Elemente der Bahn eines geworfenen Körpers anders ausfallen, als die Theorie angibt, beſtätiget die Erfahrung nur gar zu ſehr. Es iſt aber hier ſchwierig, alle Hinderniſſe, z. B. die Reibung einer losgeſchoſſenen Kugel an den Wänden des Rohres und

den Widerſtand der Luft, gehörig in Rechnung zu bringen; doch kann man leicht einſehen, daß der abſteigende Arm der Wurflinie merklich ſtärker gekrümmt ſeyn müſſe als der aufſteigende, daß die Wurfhöhe und Wurfweite hinter der berechneten zurückbleiben werde, und daß nur bei hinlänglich dichten Maſſen eine mäßige Annäherung der Erfahrung an die Theorie zu erwarten ſey. Auch die größte Wurfweite findet nicht bei einem Elevationswinkel von 45° Statt, ſondern bei einem viel kleineren.

Drittes Kapitel.

Bewegungsgeſetze tropfbar flüſſiger Körper. (Hydrodynamik.)

323. Daß tropfbare Flüſſigkeiten den bewegenden Kräften folgen, und daß, wenn einmal eine Bewegung beſtimmter Art hervorgebracht iſt, dieſe nach den allgemeinen Bewegungsgeſetzen geſchehen müſſe, iſt für ſich klar, und in ſofern wäre über die Bewegung ſolcher Flüſſigkeiten nichts weiter zu ſagen. Allein die Verſchiebbarkeit der Theile und die dadurch begründete Fortpflanzung eines einſeitigen Druckes nach allen Richtungen macht, daß bei Flüſſigkeiten Bewegungen geſchehen, wo bei feſten Körpern Gleichgewicht wäre, und daß überhaupt Bewegungen im Innern der Flüſſigkeit entſtehen, die von der Bewegung der ganzen Maſſe verſchieden ſind. Dieſe inneren Bewegungen erſchweren die Theorie der Bewegung tropfbarer Körper ungemein, und ließen ſie bis jetzt nicht zu jener Vollkommenheit gelangen, welcher ſich die Theorie der Bewegung feſter Körper erfreut. Daher kann auch hier nur das Allgemeinſte entwickelt werden, um ſo mehr, da die weitere Ausführung auf ziemlich verwickelte Rechnungen führt.

324. Verſuche über die Bewegung flüſſiger Körper ſtellt man am beſten mit gläſernen, wo möglich durchaus gleich weiten Gefäßen an, deren Wände vertical, deren Boden horizontal ſteht. Man muß ſowohl am Boden, als an den Seiten in jeder Höhe Oeffnungen von beliebiger Größe anbringen, ſie wieder verſchließen, wohl auch Röhren von verſchiedener Geſtalt und Länge daran ſetzen können.

325. Es ſey ACDB (Fig. 135) ein ſolches Gefäß, mit Waſſer bis CD gefüllt. Sobald EF oder GH geöffnet wird, muß Waſſer herausfließen, und dieſem wieder neues nachfolgen. Dadurch muß natürlich auch die Oberfläche ſinken, und überhaupt eine Bewegung in der ganzen Maſſe entſtehen. Wenn das vorhergehende Waſſer ſo ſchnell ausweicht, als das darüberſtehende folgen will, ſo erfolgt gar kein Druck der Waſſermaſſen auf einander, und alles geht ſo, wie beim freien Falle vor ſich; fließt aber das vorausgehende Waſſer nicht ſo ſchnell, als das folgende fließen will, ſo drückt dieſe Maſſe auf jene, es entſteht ein Gegendruck und, weil die Theile auszuweichen ſuchen, auch ein Druck auf die Seitenwände. Daher werden die der Ausflußöffnung zunächſt liegenden Theilchen durch ihre Schwere und

durch den Druck der darüber ſtehenden Säule beſchleuniget, und der Ausfluß erfolgt ſchneller, als im freien Falle. Jene Säule drückt aber nicht mit ihrem ganzen Gewichte, weil ſie ſelbſt im Sinken begriffen iſt, ſondern deſto weniger, je mehr ſich ihre Geſchwindigkeit der von der Schwere allein bedingten nähert. Man nennt dieſen Druck den hydrodynamiſchen, zum Unterſchiede vom hydroſtatiſchen, welchen ruhende Flüſſigkeiten ausüben. Die Oberfläche des Waſſers bleibt, wenn die Oeffnung EF gegen die Weite des Gefäßes ſehr klein iſt, ſelbſt während des Sinkens immer horizontal, nur in der Nähe des Bodens fängt das Waſſer an, eine trichterförmige Vertiefung (Strudel) zu bekommen. Dieſe rührt aber von einer Seitenbewegung der Theile der Flüſſigkeit in der Nähe der Oeffnung her; denn wenn man kleine Stücke Bernſtein ins Waſſer gibt, ſo bemerkt man, daß ſie anfangs in verticaler Richtung ſinken, in der Nähe der Oeffnung aber in einer krummlinigen Bewegung gegen dieſelbe einlenken und mit einander convergiren, die Oeffnung mag am Boden oder an der Seitenwand angebracht ſeyn.

326. Die Geſchwindigkeit, mit welcher das Waſſer in einem prismatiſchen Gefäße an der Oberfläche CD ſinkt, muß ſich zu der, mit welcher es durch die Oeffnung EF fließt, verhalten, wie der Querſchnittt EF zum Querſchnitte CD; denn wenn das Waſſer in einer Zeiteinheit von CD bis LM gekommen iſt, ſo muß das Volum CLMD dem durch EF in derſelben Zeit fließenden ENOF gleich ſeyn, d. i. $CL \,.\, CD = EF \,.\, EN$ oder $CL : EN = EF : CD$, wo CL und EN die Geſchwindigkeiten bedeuten. Kennt man die Querſchnitte EF und CD, ſo läßt ſich aus der Geſchwindigkeit in CD auf die in EF ein Schluß machen. Dieſes gewährt bei Verſuchen einen großen Vortheil, indem ſich der Raum, welchen das Waſſer in CD zurücklegt, leichter beobachten läßt als in EF. Man verſieht deßhalb das 324 erwähnte Gefäß der Höhe nach mit einer Zollſcale, beobachtet bei Verſuchen das Sinken der Oberfläche CD, und berechnet hieraus die Geſchwindigkeit in EF.

327. Iſt der Querſchnitt des Waſſerbehälters ſo groß gegen jenen der Ausflußöffnung, daß man das Waſſer im Gefäße während des Ausfluſſes als ruhig anſehen kann; ſo wird das Elementartheilchen EHKF (Fig. 136) der Flüſſigkeit durch den hydroſtatiſchen Druck der Säule EILF beſchleuniget, und erlangt, während es den Weg HE zurücklegt, die Ausflußgeſchwindigkeit c. Iſt G die Geſchwindigkeit, welche die Maſſe EHKF am Ende der Zeiteinheit haben würde, wenn die bewegende Kraft ſo lange mit ungeänderter Intenſität fortwirkte, ſo hat man nach der Formel (5) in 276, $c = \sqrt{2G \,.\, HE}$. Der Ausdruck der bewegenden Kraft ſelbſt iſt (nach 33) $G \,.\, EHKF$. Allein dieſe Kraft iſt das Gewicht der Säule EILF, mithin wenn g die Acceleration der Schwere anzeigt $= g \,.\, EILF$. Es beſteht alſo die Gleichung $G \,.\, EHKF = g \,.\, EILF$, mithin iſt wegen Gleichheit der Dichten und der Grundflächen beider Maſſen $G \,.\, HE = g \,.\, IE$. Dieſem gemäß wird, wenn man die Druckhöhe $IE = a$ ſetzt, $c = \sqrt{2ga}$.

Es iſt demnach die anfängliche Geſchwindigkeit des ausfließenden Waſſers ſchon ſo groß, als wäre es vom Waſſerſpiegel bis zur Ausflußöffnung herabgefallen. — Iſt es wegen verhältnißmäßig zu großer Ausflußöffnung nicht geſtattet, das Waſſer im Behälter als ruhig anzuſehen, ſo ſey die Ausflußgeſchwindigkeit $= \gamma$, der Querſchnitt des Behälters $=$ B, jener der Ausflußöffnung $=$ b. Die Geſchwindigkeit des Waſſers im Behälter iſt nun (326) $= \frac{b}{B}\gamma$. Erlaubt man ſich annäherungsweiſe $\gamma = c - \frac{b}{B}\gamma$ zu ſetzen, ſo hat man

$$\gamma = \frac{Bc}{B+b} = \frac{B}{B+b}\sqrt{2ga}.$$

328. Die ausfließende Waſſerſäule hat nicht einerlei Querſchnitt mit der Ausflußöffnung, ſondern ſie zieht ſich gleich beim Austritte aus dem Behälter zuſammen, und erreicht in einiger Entfernung davon den kleinſten Durchſchnitt. Dieſes rührt ohne Zweifel davon her, daß nicht bloß das verticale ober der Oeffnung ſtehende Waſſer ausfließt, ſondern daß ſich auch das ſeitwärts befindliche zum Ausfluſſe hindrängt, und daher in ſchiefer Richtung herabſteigt. Die Größe der Zuſammenziehung des ausfließenden Strahles hängt zum Theile von der Größe der Ausflußöffnung und der Druckhöhe, hauptſächlich aber von der Dicke des Bodens ab.

Bei einem dünnen Boden beträgt der Querſchnitt des zuſammengezogenen Strahles $^5/_8$tel von jenem der Oeffnung, bei einem dicken Boden $^{13}/_{16}$tel, oder endlich gar $^{30}/_{31}$ſtel, wenn an der Oeffnung eine kurze nach außen ſich erweiternde Röhre angeſetzt iſt. Nach Schitko iſt der Contractions-Coefficient $= \sqrt{\left(0{,}38 + 0{,}62\,\frac{b}{B}\right)}$.

329. Das in einer Zeiteinheit ausfließende Waſſervolum V wird erhalten, wenn man in der Formel für die Ausflußgeſchwindigkeit γ an die Stelle von b den kleinſten Querſchnitt des Waſſerſtrahles ſetzt. Dieſer iſt $= \mu b$, wenn μ den Contractions-Coefficienten vorſtellt. Man hat dem gemäß

$$V = \frac{\mu B b}{B + \mu b}\sqrt{2ga}.$$

Dieſes Waſſervolum fließt wiederholt in jeder Zeiteinheit aus, ſobald der Behälter durch einen Nachfluß beſtändig voll erhalten wird, und die ausfließende Waſſermenge wächſt demnach mit der Dauer des Ausfluſſes im geraden Verhältniſſe. Hat der Behälter keinen Nachfluß, ſo nimmt die Ausflußgeſchwindigkeit fortwährend ab, ſo wie die Quadratwurzel der Druckhöhe abnimmt, und es fließt in einer beſtimmten Zeit nur halb ſo viel Waſſer ab, als wenn der Behälter immer gleich voll geblieben wäre.

Iſt die ganze Seitenwand ABCD (Fig. 137) eines Gefäßes offen, und wird daſſelbe durch einen Nachfluß beſtändig gleich voll erhalten, ſo findet man die Ausflußmenge des Waſſers auf folgende Weiſe: Man denke ſich von jedem Puncte der AC eine horizontale Linie, welche

die Geſchwindigkeit des Waſſers in dem dazu gehörigen horizontalen Schnitte der Oeffnung ausdrückt, und verbinde die Endpuncte dieſer Linien. Auf gleiche Weiſe wird man mit jeder Linie verfahren können, die einem horizontalen Schnitte der Oeffnung entſpricht, und man wird eine krumme Fläche A G K B erhalten, in welcher alle Endpuncte der Linien liegen, welche die Geſchwindigkeiten ausdrücken. Die Krümmung dieſer Fläche wird paraboliſch ſeyn. Denn iſt C G die Geſchwindigkeit des Waſſers in der Horizontalen C D, E H die in E F; ſo hat man: $CG = \sqrt{2g \cdot AC}$, $EH = \sqrt{2g \cdot AE}$, mithin $CG^2 : EH^2 = AC : AE$. Dieſes deutet an, daß A H G eine Parabel ſey, und da dieſes für jeden Punct in C D und E F gilt, ſo muß auch A G K B die genannte Krümmung haben. — Hiernach iſt man im Stande, den Waſſerkörper A C G K B zu berechnen, der in einer Zeiteinheit durch A B C D fließt; denn es iſt $ACG = \frac{2}{3} AC \cdot CG$, daher $ACGKB = \frac{2}{3} AC \cdot CG \cdot CD = \frac{2}{3} AC \cdot CD \sqrt{2g \cdot AC}$.

330. Iſt die Ausflußöffnung an der Seitenwand des Gefäßes angebracht, ſo haben die in verſchiedenen, horizontalen Schichten liegenden Waſſertheile, ſchon wegen ihrer verſchiedenen Entfernung von der Oeffnung, eine verſchiedene Geſchwindigkeit. Iſt die Oeffnung gegen dieſe Entfernung klein, ſo kann man die Entfernung ihres Schwerpunctes von der Oberfläche der Flüſſigkeit für die mittlere Druckhöhe anſehen, und die Geſchwindigkeit darnach berechnen, darf aber auch hier nicht den Einfluß der Zuſammenziehung des Strahles überſehen. Die Bewegung des bereits außerhalb des Behälters befindlichen Waſſers iſt aber dann mit der eines ſchweren, nach einer horizontalen Richtung geworfenen Körpers einerlei; denn der Seitendruck treibt das Waſſer horizontal fort, während es die Schwere vertical abwärts zieht. Deßhalb iſt die Bahn eines ſolchen Strahles eine Parabel.

331. Waſſer, das von einem Behälter durch Röhren abgeleitet wird, ſoll mit einer Geſchwindigkeit ausfließen, welche dem Höhenunterſchiede des Waſſerſpiegels im Behälter und der Ausflußöffnung entſpricht. Aber da es nebſt dem Widerſtande, den es beim Austritte aus dem Behälter erfährt, noch einen andern durch Reibung an den Röhrenwänden erleidet, welcher im verkehrten Verhältniſſe des Durchmeſſers der Röhren und im geraden ihrer Länge ſteht, überdieß auch noch von der Geſchwindigkeit des Waſſers abhängt, und wie das Quadrat derſelben wächſt; ſo fällt dieſe Geſchwindigkeit viel kleiner aus, beſonders wenn die Röhrenleitung Krümmungen hat. Mehrere Gelehrte, wie z. B. Eytelwein, Prony, Navier und Girard, haben dieſe Geſchwindigkeit durch Verſuche und Rechnung auszumitteln geſucht. Unter dieſen hat vorzüglich der Letztere den Fall berückſichtiget, wo eine Flüſſigkeit durch ſehr enge Röhren geleitet wird, und gefunden, daß das Reſultat verſchieden ausfalle, je nachdem die Flüſſigkeit die Röhrenwand benetzt oder nicht. Im letzteren Falle hört die Flüſſigkeit auf, durch ein Röhrchen auszufließen, ſobald der Druck bis zu einer gewiſſen Größe vermindert worden iſt, die von der Weite und Länge der Röhre abhängt. Die Geſchwindigkeit verſchiedener Flüſ-

ſigkeiten, welche die Röhrenwände benetzen, iſt auch ſelbſt bei einerlei Druck verſchieden, und wird durch Temperaturerhöhung ſehr bedeutend vergrößert. Bei einem Verſuche floß Waſſer von nahe 100° C. aus einer Glasröhre beinahe viermal ſchneller ab, als ſolches, deſſen Temperatur nahe an 0° C. war.

332. Iſt die Ausflußöffnung an einer aufwärts gebogenen Röhre angebracht, ſo ſoll das Waſſer mit einer Geſchwindigkeit hervorſpringen, welche von der Höhe der drückenden Waſſerſäule abhängt, und bis zur Oberfläche des Waſſers im Behälter emporſpringen. Weil aber dieſe Geſchwindigkeit theils durch die Adhäſion an die Ränder der Oeffnung, theils durch die Seitenbewegung der Waſſertheile, ſogar durch den Druck der wieder zurückfallenden Tropfen vermindert wird; ſo bleibt der hervorſpringende Strahl ſtark unter dieſer Höhe zurück. Je mehr man die genannten Hinderniſſe vermindert, um ſo höher wird der Strahl ſteigen, ohne doch je die durch Rechnung angegebene Höhe zu erreichen. Deßhalb iſt die Sprunghöhe geringer, wenn die Ausflußöffnung an einer cylindriſchen Röhre, als wenn ſie an einer dünnen Platte angebracht iſt; höher, wenn der Strahl etwas von der verticalen Richtung abweicht, als wenn er ganz vertical emporſteigt. Deßhalb gibt es auch für jede Waſſerhöhe ein gewiſſes Maß der Oeffnung, wobei der Strahl die größte Höhe erreicht. Merkwürdig iſt die Geſtalt eines Waſſerſtrahles, der aus der kreisförmigen Oeffnung einer dünnen Wand emporſchießt. Man unterſcheidet da leicht zwei Theile, den äußeren, die Ränder der Oeffnung berührenden, und den inneren. Erſterer bildet einen Rotationskörper von ungleichen Querſchnitten, iſt ruhig und durchſichtig gleich einem Glasſtabe, letzterer unruhig, undurchſichtig, und aus einer Anzahl durch gleiche Zwiſchenräume getrennter Anſchwellungen beſtehend, wovon die größte einen Querſchnitt hat, der jenen der Ausflußöffnung übertrifft. (Pogg. Ann. 29. 353; 31. 124.)

333. Bisher wurde bei der Betrachtung der bewegenden Kraft des Waſſers auf den Luftdruck keine Rückſicht genommen, und dieſes kann auch geſchehen, ſo lange man es mit Behältern zu thun hat, wo der Luftdruck auf den Waſſerſpiegel und die Ausflußöffnung gleich groß iſt. Geſtattet eine zu große Entfernung des Waſſerſpiegels vom Ausguſſe dieſes nicht, ſo nimmt die Druckhöhe um eine Säule von ſolcher Höhe ab, daß ſie dem Uebergewichte des Luftdruckes auf die Ausflußöffnung das Gleichgewicht hält. Auf ſolche Weiſe vermindert der Luftdruck die Menge des in einer beſtimmten Zeit ausfließenden Waſſers. Es gibt aber auch Fälle, wo er dieſe Ausflußmenge vergrößert, wenn nämlich der Ausfluß durch eine nach außen ſich erweiternde Röhre geſchieht. Iſt A (Fig. 138) der Waſſerbehälter, a b c d die Anſatzröhre; ſo ſucht der Waſſerdruck in dem Querſchnitte a b und c d dieſelbe Geſchwindigkeit zu erzeugen. Aber durch die größere Oeffnung c d fließt in einer Zeiteinheit mehr Waſſer als durch a b, und es würde demnach zwiſchen a b und c d ein leerer Raum entſtehen, wenn nicht der Luftdruck ein ſchnelleres Nachfließen durch a b bewirkte und ſo die Aus-

flußmenge vermehrte. Daß dieſes ſo ſey, erkennt man, wenn man an der Ausflußröhre einen abwärts gerichteten, ins Waſſer reichenden Anſatz e anbringt; denn da wird das Waſſer in demſelben aufgeſaugt.

334. Wenn fließendes Waſſer die ganze, der Druckhöhe entſprechende Geſchwindigkeit hat, ſo übt es gar keinen Druck auf den Behälter aus; ſo wie aber ſeine Geſchwindigkeit kleiner wird, als die Druckhöhe verlangt, entſteht ein Druck auf das Gefäß von innen nach außen; überſchreitet die Geſchwindigkeit die der Druckhöhe entſprechende Größe, ſo werden die Gefäßwände gar einwärts gedrückt. Man kann demnach bei einem Gefäße, welches fließendes Waſſer enthält, durch Vermindern, Vermehren oder Aufheben der Geſchwindigkeit des Ausfluſſes den Druck auf die Gefäßwände vermehren, vermindern oder gar der Richtung nach umkehren. Auf einer ſolchen Veränderung des Druckes beruht der ſogenannte Stoßheber.

Der Stoßheber (Fig. 139) beſteht aus einer hinreichend langen, horizontalen Röhre A, die an einem Ende mit einem höher gelegenen Waſſergefäße B in Verbindung ſteht, am andern Ende aber ſich in einen Heronsball C mittelſt einer Klappe a mündet, die ſich vom Inneren der Röhre nach außen öffnet. Nahe dabei und außerhalb des Heronsballes hat ſie ein zweites, einwärts ſich öffnendes Ventil b, das ſich durch ſein eigenes Gewicht öffnet. Sobald das Waſſer vom Behälter in die Röhre tritt und ſie anfüllt, ſtößt es an die letztgenannte Klappe und ſchließt ſie; dadurch verwandelt ſich der hydrauliſche Druck in einen hydroſtatiſchen, und das Waſſer wird in den Stand geſetzt, die Klappe am Heronsballe zu öffnen, hineinzudringen, und die Luft daſelbſt zu verdichten. Dabei geht es aber vermöge der Trägheit weiter, als das Gleichgewicht fordert; der Theil außer dem Heronsballe geht daher wieder zurück, und wird dabei von den beiden zurückfallenden Klappen, beſonders von der äußeren, unterſtützt, kehrt, wie ein Pendel, wieder gegen die Klappen hin, es dringt wieder ein Theil in den Heronsball und fängt an in die Höhe zu ſpringen u. ſ. f.

335. Fließendes Waſſer übt gegen einen darin feſtgehaltenen Körper einen Druck aus, deſſen Größe ſich beſtimmen läßt. Erfolgt derſelbe nach einer auf die gedrückte Fläche ſenkrechten Richtung, ſo wird er durch den Druck einer Waſſerſäule gemeſſen, deren Baſis dieſer Fläche gleich, und deren Höhe die der Geſchwindigkeit des Waſſers entſprechende Fallhöhe iſt. Heißt demnach die Größe der gedrückten Fläche A, die Geſchwindigkeit des Waſſers c, die Acceleration der Schwere g; mithin die zu c gehörige Fallhöhe $\frac{c^2}{2g}$, ſo iſt die Größe des Druckes $= \frac{Ac^2}{2g}$. Einen ſchiefen Druck kann man nach 311 behandeln.

Iſt die Fläche des Körpers viel größer als der gegen ſelbe ſich bewegende Waſſerſtrahl, ſo fließt das Waſſer ſchon in einiger Entfernung von dieſer Fläche auf einer krummen Bahn ab, und der ſenkrechte Druck iſt nahe doppelt ſo groß, als nach der vorhergehenden Rechnung. Auf dieſen Geſetzen beruht die Theorie der unterſchlächtigen Waſſerräder, die Form der Brückenpfeiler ꝛc. Mehr hierüber in hy-

drauliſchen Werken: Lehrbuch der Hydraulik von Langsdorf. Altona, 1795. Eitelwein's Lehrbuch der Mechanik und Hydraulik. Berlin, 1824. *Elementi d'Idraulica di Giuseppe Venturoli. Milano,* 1818. Gerſtner's Handbuch der Mechanik. Prag, 1832. 2. Bd.

Viertes Kapitel.

Bewegungsgeſetze ausdehnſamer Körper (Aërodynamik).

336. Die Bewegungsgeſetze ausdehnſamer Flüſſigkeiten ſind den für tropfbare Körper aufgeſtellten in vielen Stücken ähnlich, im Ganzen aber doch ſchwieriger zu entwickeln als dieſe, und minder leicht einer populären Darſtellung fähig. Strömt ein Gas aus einer Oeffnung, welche an der dünnen Wand ſeines Behälters angebracht iſt, in einen luftleeren Raum heraus; ſo wird ſeine Geſchwindigkeit wie die eines tropfbaren Körpers berechnet, nur mit dem Unterſchiede, daß die dieſer Geſchwindigkeit entſprechende Druckhöhe nicht die der wirklichen Gasſäule iſt, ſondern jene, welche Statt finden würde, wenn man die ganze Gasmaſſe auf die Dichte reducirte, welche ſie an der Ausflußöffnung hat. Strömt z. B. atm. Luft aus einem Gefäße in einen leeren Raum; ſo muß man, um jene Reduction machen zu können, den Barometerſtand b, die Dichte D des Queckſilbers und die Dichte d der Luft an der Ausflußöffnung kennen. Heißt die zu findende Höhe x, ſo iſt $d:D = b:x$ und $x = \frac{Db}{d}$, und daher die Geſchwindigkeit, mit welcher die Luft ausſtrömt, $\sqrt{\frac{2gDb}{d}}$. Dieſe Formel gibt natürlich auch die Ausflußgeſchwindigkeit in einen leeren Raum für jedes andere Gas an, deſſen Dichte an der Ausflußöffnung durch d ausgedrückt wird und das unter dem Drucke b ſteht. Es verhalten ſich daher dieſe Geſchwindigkeiten bei verſchiedenen Gaſen verkehrt, wie die Quadratwurzeln ihrer Dichten. Die Geſchwindigkeit, mit welcher ein Gas in ein anderes hineinſtrömt, läßt ſich nicht auf ſo einfache Weiſe beſtimmen. Indeß kann man doch die Differenz der Druckhöhen, deren eine dem ausſtrömenden Gaſe, die andere demjenigen entſpricht, in welches jenes hineinſtrömt, als die Größe anſehen, welche ſtatt x in obige Formel geſetzt, die geſuchte Geſchwindigkeit gibt. Ein Gas, das in den bereits von einem andern Gaſe erfüllten Raum ſtrömt, hat eine kleinere Geſchwindigkeit, als wenn jener Raum leer wäre (252), doch wird dieſe Verminderung der Geſchwindigkeit nicht durch eine poſitive Gegenwirkung des Gaſes hervorgebracht, ſondern nur durch Verengung der Ausſtrömungsöffnung.

337. Wenn man die Reſultate dieſer Berechnungen mit den Ergebniſſen directer Verſuche vergleicht, wie ſie Schmidt (Gilb. Ann. 66. 39), d'Aubuiſſon (*Ann. de Ch.* 34. 380) u. a. angeſtellt haben; ſo findet man, daß jene eine viel größere Geſchwindigkeit geben

als dieſe. Nach Schmidt beträgt die wirkliche Geſchwindigkeit nur 0,52 von der berechneten, wenn die Ausflußöffnung an einer dünnen Wand angebracht iſt, wächſt aber auf 0,6, wenn man die dünne Platte mit einer etwa 1 Zoll langen cylindriſchen Röhre vertauſcht. Eine coniſche Röhre gibt eine noch größere Geſchwindigkeit; die größte eine ſolche, deren äußere Durchmeſſer ſich wie 1 : 2 verhalten, und deren Länge den Durchmeſſer fünf- bis zehnmal übertrifft. Die Urſache dieſer Differenz zwiſchen der berechneten und der durch Verſuche gefundenen Geſchwindigkeit liegt ohne Zweifel in einer Zuſammenziehung des Luftſtrahles, welche der des Waſſerſtrahles (328) ähnlich iſt. D'Aubuiſſon hat den Querſchnitt des zuſammengezogenen Strahles bei einer dünnen Wand gleich 0,65, bei einer cylindriſchen Anſatzröhre = 0,93, bei einer coniſchen = 0,95 von dem Querſchnitte der Oeffnung gefunden.

338. Auch die Bewegung der Gaſe in Röhrenleitungen ſtimmt mit der des Waſſers beinahe ganz überein. Girard und Cagniard-Latour haben mit mehreren Gaſen Verſuche hierüber angeſtellt (*Mém. de l'Acad.* 5. 383), und dabei gefunden, daß atmoſphäriſche Luft und Kohlenwaſſerſtoffgas, ungeachtet ihrer verſchiedenen Dichte, ſich in Röhren nach demſelben Geſetze bewegen und denſelben Widerſtand erleiden, und daß dieſer Widerſtand dem Quadrate ihrer mittleren Geſchwindigkeit proportionirt iſt. Die Gasmengen, welche Röhrenleitungen liefern, ſtehen im geraden Verhältniſſe mit dem Drucke, den ſie im Gasbehälter erleiden, und im verkehrten mit der Quadratwurzel der Länge der Leitungsröhren. Nur beim Ausfluß aus capillaren Oeffnungen zeigen Gaſe beſondere Eigenthümlichkeiten. Nach Faraday's Verſuchen (*Quart. Journ. of. sc.* 3. 354; 7. 106 und Pogg. Ann. 28. 355) ſtrömt bei hohem Drucke ein beſtimmtes Volum Waſſerſtoffgas ſchneller aus, als öhlbildendes Gas, bei niederem aber findet das Gegentheil Statt, wenn der Ausfluß durch enge Röhrchen, dieſe mögen von Glas oder Metall ſeyn, geſchieht. Beim Ausfluß aus feinen, an Papier, Platinblechen ꝛc. gemachten Ritzen und Löchern findet dieſe Verſchiedenheit nicht Statt, ſie zeigt ſich aber deſto mehr, je langſamer die Gaſe ausſtrömen. Dieſes ſcheint nicht bloß von der Verſchiedenheit der Dichte der Gaſe abzuhängen, ſondern von irgend einer anderen mechaniſchen Eigenſchaft derſelben.

339. Wenn Luft aus einem Gefäße ausſtrömt, ſo ſucht der Druck auf die der Ausflußöffnung gegenüberſtehende Wand dieſelbe fortzubewegen. Iſt das Gefäß leicht nach der Richtung dieſes Druckes beweglich, ſo kann man ſich auch durch die wirklich eintretende Bewegung vom Daſeyn eines ſolchen Druckes überzeugen. Das Zurückſtoßen der Gewehre und Kanonen beim Losfeuern, die Rotation der ſogenannten Schwärmer, das Steigen der Raketen ꝛc., beruht darauf.

340. Die Urſache, welche in einer Luftmaſſe eine Bewegung erzeugt, iſt Aenderung der Expanſivkraft, die ſelbſt wieder durch eine Aenderung der Dichte oder der Temperatur hervorgebracht wird. Daher kommt die Bewegung der Luft aus Blasbälgen, der Luftzug in

Kaminen, bei Feuersbrünſten, der beſtändige Luftwechſel in unſeren Zimmern zur Winterszeit ꝛc.

341. Wenn verdichtete Luft aus einer Oeffnung ausſtrömt und einen gegenüberſtehenden Körper, z. B. eine leicht bewegliche Platte trifft; ſo ſollte man wohl erwarten, daß dieſe vom Luftſtrome fortgeſtoßen werde. Dieſes iſt auch wirklich der Fall, wenn der Ausfluß aus einer frei ſtehenden Röhre erfolgt; iſt aber an die Röhre nächſt der Ausflußöffnung eine Platte angeſteckt, der eine leichte Platte in geringer Entfernung gegenüber ſteht, beide von einem Durchmeſſer, welcher den der Oeffnung weit übertrifft; ſo wird dieſe Platte gegen die Oeffnung hingetrieben; nur bei größerer Entfernung der Platten geſchieht das Gegentheil, und die bewegliche Platte folgt dem aus der Röhre hervortretenden Luftſtrome. Dieſe Erſcheinung, welche man das aërodynamiſche Paradoxon nennen kann, hat denſelben Grund wie die Vermehrung der Ausflußmenge des Waſſers durch eine coniſche Anſatzröhre (333). Auch da fließt durch die ringförmige Oeffnung mehr Luft ab, als durch die enge Oeffnung an der Wand des Gefäßes vermöge des inneren Luftdruckes nachfolgen kann, und es würde ein luftleerer Raum zwiſchen der Wandöffnung und der Platte entſtehen, wenn die äußere Luft nicht die letztere gegen die Platte triebe und den ringförmigen Raum verminderte. Von der Wirklichkeit dieſes Herganges überzeugt man ſich mittelſt des Apparates (Fig. 140), wo die Ausflußröhre A ſeitwärts eine heberförmige, Queckſilber enthaltende Röhre a zur Beſtimmung der etwaigen Aenderung des Luftdruckes und die Deckelplatte B eine eben ſolche b zu demſelben Zwecke hat, überdieß ſind aber noch an der Wand C, längs welcher die ausſtrömende Luft hinſtreicht, drei in Waſſer reichende Röhren angebracht. Beim Ausſtrömen von Luft zeigt die Bewegung des Queckſilbers in a und b, daß innerhalb dieſer Röhre der Luftdruck größer iſt als auswärts, aber in den Röhren c, d, e ſteigt das Waſſer und zwar in c mehr als in d, in d mehr als in e, zum Beweiſe, daß zwiſchen den Platten der Druck kleiner als von außen ſey.

Aehnliche Erſcheinungen bewirkt auch eine Vermehrung der Geſchwindigkeit eines ſtrömenden Gaſes, welche die der Druckhöhe entſprechende Größe überſchreitet; denn da wird der ſonſt auf die Gefäßwände nach auswärts gerichtete Druck in einen nach einwärts gerichteten verwandelt (334). Man ſieht dieß an dem Apparate Fig. 141. Dieſer beſtehet aus einem Gefäße AB, an deſſen einem Ende B eine enge, am anderen A eine viel weitere Röhre angeſetzt iſt, während unten eine heberförmige, Queckſilber enthaltende Röhre angebracht iſt. Bläſt man durch die weitere Anſatzröhre in das Gefäß, ſo ſteigt das Queckſilber im äußeren Heberſchenkel; thut man dieſes durch die engere Röhre, ſo ſinkt das Queckſilber in ſelbem. (Schweigg. Journ. 53. 304. Pogg. Ann. 15. 310.) Hieher gehören auch die Erſcheinungen, welche ein aus einer Röhre hervortretender, gegen eine Wand gerichteter Luftſtrom zeigt, die ſich mit Hülfe einer Lichtflamme nachweiſen laſſen, deren Richtung jene der bewegten Luft angibt. Wird z. B. ein Luftſtrom durch die Röhre A (Fig. 142) gegen die Wand BC geblaſen, ſo weicht eine Lichtflamme in E oder F gegen die Wand hin ab, und man findet ſo, daß nicht, wie man beim erſten Anblicke vermuthet

hätte, der gegen die Wand geblaſene Luftſtrom von derſelben abprallt, ſondern vielmehr das Gegentheil erfolgt, daß aber der Luftſtrom längs der Wand nach der Richtung BC hingleitet.

342. Der Druck, welchen bewegte Luft gegen ein Hinderniß ausübt, iſt im Allgemeinen wie jener des Waſſers (335) zu beurtheilen. Man darf aber dabei nicht vergeſſen, daß man es mit einer ausdehnſamen Flüſſigkeit zu thun habe, die beim Anſtoßen verdichtet wird und ſich hierauf wieder ausdehnt, und ſowohl in dieſem als in jenem Falle gleich einem elaſtiſchen Körper auf den geſtoßenen Körper wirkt. Indeß iſt man hierin noch nicht, weder auf dem Wege der Rechnung, noch auf dem der Erfahrung, völlig ins Reine gekommen, und letztere lehrt oft ein Verhalten beim Stoße der Luft, das man aus unſeren theoretiſchen Unterſuchungen nicht abzuleiten im Stande iſt. Auf dem Geſetze des Luftſtoßes beruht die Richtung der Wetterfahnen, die der Segel eines Schiffes, die Zweckmäßigkeit im Baue der Pflanzen, welche Windſtöße auszuhalten haben ꝛc. ꝛc.

Fünftes Kapitel.

Wellenbewegung im Allgemeinen und Geſetze des Schalles insbeſondere.

343. Werden die Theile eines Körpers durch irgend eine ſtörende Urſache aus der denſelben im Zuſtande des Gleichgewichtes eigenen Lage gebracht, ohne jedoch hiebei die Grenzen der Stabilität des Gleichgewichtes zu überſchreiten, ſo treten Kräfte auf, welche die Körpertheile gegen ihre früheren Poſitionen hinzuführen ſtreben, und denen zu Folge dieſe Theile, ſich ſelbſt überlaſſen, um jene Poſitionen ſich herumbewegen, oder wie man in einem ſolchen Falle zu ſagen pflegt, Schwingungen oder Vibrationen machen. Iſt die ſchwingende Bewegung mit einer Aenderung der relativen Stellung der Körpertheile verbunden, ſo heißt ſie Wellenbewegung (im weiteren Sinne des Wortes) zum Unterſchiede von der Pendelbewegung, bei welcher keine Aenderung der relativen Lage der ſchwingenden Körpertheile obwaltet.

Die Betrachtung der Wellenbewegung hat für den Phyſiker die größte Wichtigkeit. Die Wahrnehmungen, die wir mittelſt des Gehörorganes machen, werden, wie ſich ſtrenge beweiſen läßt, durch ſchwingende Bewegung ſchallender Körper hervorgerufen, welche das Medium, wovon dieſes Organ umgeben iſt, in Wellenbewegung verſetzen, wodurch dieſes Organ ſelbſt afficirt wird. Die Erſcheinungen des Lichtes und der ſtrahlenden Wärme laſſen ſich nach gehöriger Beachtung wohl begründeter Thatſachen nicht anders als durch die Vorausſetzung der Wellenbewegung eines imponderablen Mediums begreifen: die Analogie macht es wahrſcheinlich, daß auch andere Wirkungen, die man der Bewegung unwägbarer Stoffe zuzuſchreiben pflegt, eine ähnliche Erklärung geſtatten. An dem gegenwärtigen Orte, wo lediglich wägbare Stoffe in Betrachtung kommen, kann nur von der Anwendung

der Geſetze der Wellenbewegung auf die Erſcheinungen des Schalles die Rede ſeyn; die Wellenbewegung unwägbarer Stoffe bleibt dem folgenden Theile vorbehalten: den dort vorzutragenden Lehren werden die Ergebniſſe der Unterſuchung der Wellenbewegung wägbarer Stoffe zur Grundlage dienen.

344. Es laſſen ſich zwei Arten der Wellenbewegung unterſcheiden. Bei der einen pflanzt ſich die ſchwingende Bewegung gewiſſer Körpertheilchen, auf welche die ſtörende Urſache unmittelbar eingewirkt hat, zu den benachbarten Theilen fort; die Theile des Körpers ſchwingen alſo nach einander, ſo daß die Anordnung, welche dieſe Körpertheile, ihren Bewegungszuſtänden zufolge, in irgend einem Augenblicke zeigen, von einem Orte zum anderen fortzuſchreiten ſcheint. Dieſe Art der ſchwingenden Bewegung heißt die fortſchreitende Schwingung; ſie iſt Wellenbewegung im eigentlichen Sinne des Wortes (Undulation). Bei der anderen Art der Wellenbewegung werden die Schwingungen der Theile eines Körpers gleichzeitig vollbracht, und wenn auch der Körper ſich in mehrere ſchwingende Partien abtheilt, zwiſchen welchen Uebereinſtimmung herrſcht, ſo geht doch nicht der Zuſtand des einen Theiles auf den andern über, ſondern es ſind dieſe Theile durch ruhende Stellen von einander getrennt. Eine ſolche Bewegungsart heißt ſtehende Schwingung (Oſcillation). Die genauere Betrachtung dieſer zwei Schwingungsformen wird noch präciſere Unterſcheidungsmerkmale derſelben an die Hand geben. Sie finden beide ſowohl an feſten als flüſſigen Körpern Statt, und es können die Kräfte, welche die Bewegungen der Körpertheilchen beſtimmen, ſowohl innere, nämlich die Molecularkräfte ſeyn, alſo die Elaſticität des Körpers in das Spiel treten, oder dabei vornehmlich äußere Kräfte, insbeſondere die Schwere, ſich thätig erweiſen, welcher Fall bei biegſamen Körpern und bei tropfbaren Flüſſigkeiten vorkommt.

Zu den durch die Elaſticität der Körper bedingten Schwingungen gehören jene der ſchallenden und ſchallfortpflanzenden Körper; es wird jedoch bei der folgenden Unterſuchung der Wellenbewegung die Beziehung derſelben zu unſerem Gehörorgan vor der Hand bei Seite geſetzt, was jedoch nicht hindert, einige Hülfsmittel der Forſchung, die ſich auf dieſe Beziehung gründen, zu benützen; am Schluſſe dieſes Kapitels wird das Phänomen des Schalles ſelbſt Gegenſtand der Erörterung ſeyn.

A. Fortſchreitende Schwingung.

345. Eine fortſchreitende Schwingung oder eigentliche Wellenbewegung entſteht, wenn das innere Gleichgewicht eines Körpers theilweiſe aufgehoben wird. Dieß hat zur Folge, daß nach und nach auch die Theile, welche die ſtörende Urſache nicht unmittelbar getroffen hat, vermöge der Wechſelwirkung, die zwiſchen jedem einzelnen Theilchen und denen die es umgeben obwaltet, in Bewegung gerathen. Zunächſt beruht die Wechſelwirkung zwiſchen den Theilchen eines Körpers jederzeit auf den Molecularkräften, die ſie gegen einander äußern,

es mögen nun dieſe Kräfte für ſich ſchon mit einer gewiſſen Energie beſchäftigt ſeyn, wie bei einem ſtarren feſten Körper in ſeinem natürlichen Zuſtande, oder ihre Energie lediglich dem Umſtande verdanken, daß die Körpertheilchen durch äußere Kräfte, als Druck, Spannung, Schwere ꝛc., einander näher gebracht oder von einander entfernt und dadurch erſt die Molecularkräfte geweckt worden ſind. Jedenfalls hängt die Kraft, womit ein Molekel A auf ein zweites Molekel B einwirkt, von der Stellung des einen gegen das andere ab, und es iſt die Action von A auf B mit einer gleichen und der Richtung nach entgegengeſetzten Action von B auf A verbunden. Befindet ſich A im Zuſtande des Gleichgewichtes, ſo wird die Kraft, womit jedes benachbarte Theilchen das erſtere afficirt, durch die Geſammtwirkung der übrigen aufgehoben, und damit dieſes obwalte, muß A in Bezug auf ſeine Umgebung einen gewiſſen Platz einnehmen. Wird nun A von dieſem Platze verſchoben, ſo ändern die Kräfte, die es von den benachbarten Theilchen erfährt, ihre Richtungen und Größen; dieſe Kräfte heben einander nicht mehr auf, ſondern ihre Geſammtwirknng reducirt ſich auf eine Reſultirende, von welcher A zur Bewegung angetrieben wird. Allein indem ſich die Action von B auf A ändert, geht eben dasſelbe auch mit der Action von A auf B vor ſich; es wird daher auch das Gleichgewicht von B geſtört, und B geräth in Bewegung. Ein gleiches kann von den übrigen Theilchen in der Umgebung von A geſagt werden. Die Störung des Gleichgewichtes dieſer letzteren zieht eben ſo die Störung des Gleichgewichtes anderer Theilchen nach ſich; auf dieſe Art entſteht eine Bewegung, welche von einem Orte des Körpers zum andern ſich fortpflanzt und an einer entfernteren Stelle noch Statt finden kann, nachdem die urſprüngliche Thätigkeit, welche die Störung veranlaßte, aufgehört hat, und die zuerſt bewegten Theilchen wieder in ihre vorigen Stellungen des Gleichgewichtes zurückgekehrt ſind.

316. Wenn das Gleichgewicht der Theile eines Körpers an einer Stelle geſtört wird, ſo nehmen dieſelben die Bewegung an, die ihnen die ſtörende Urſache aufdringt; ihr Zuſtand und in Folge deſſen auch die auf die benachbarten Theile übergehende Bewegung trägt das Gepräge der urſprünglichen, d. h. von der ſtörenden Urſache unmittelbar ausgehenden Einwirkung an ſich. Allein die Fortpflanzung dieſer Bewegung beruht lediglich auf der Art der Verbindung, in der die Körpertheile ſtehen, daher kann die urſprüngliche Form der Bewegung, nach der Beſchaffenheit des Körpers, worin die Fortpflanzung Statt hat, mannigfaltig modificirt werden. Es iſt daher nöthig, die Fortpflanzung der Bewegung in verſchiedenen Körperformen und unter dem Einfluſſe verſchiedener Kräfte abgeſondert zu unterſuchen. Doch nimmt die Wellenbewegung in allen Fällen, in je größere Entfernungen von dem Urſprunge der Bewegung ſie vorgedrungen iſt, um ſo mehr einen conſtanten Charakter an, und befolgt Geſetze, die von der Art der anfänglichen Erregung der Bewegung unabhängig ſind, und theils auf theoretiſchem, theils auf experimentalem Wege aufgefunden werden können.

347. Um den Hergang der Wellenbewegung an einem paſſenden Beiſpiele zu zeigen, und die Auffaſſung mehrerer dabei in Erwägung kommenden Begriffe zu erleichtern, betrachten wir zuerſt die Fortpflanzung einer partiellen Erſchütterung in einem cylindriſchen oder prismatiſchen, aus einem nach allen Richtungen gleich elaſtiſchen Stoffe beſtehenden Körper von geringem Querſchnitt aber großer Länge, und nehmen an, daß die Körpertheilchen durchgehends bloß nach der Richtung der Länge, oder wie man zu ſagen pflegt, in longitudinalem Sinne in Bewegung geſetzt werden. Ein ſolcher Körper iſt z. B. eine geſpannte Saite, ein Stab von Metall, Glas, eine Luftſäule u. dgl. Um einen beſtimmten Fall vor Augen zu haben, ſey A Z, Fig. 143, eine Röhre, worin ſich Luft befindet, und es werde in dieſelbe ein Stempel ſo eingeſchoben und wieder zurückgezogen, daß er nur den ſehr kleinen Weg A B hin und zurück durchläuft. Dadurch kommen offenbar alle in einem auf die Axe der Röhre ſenkrechten Querſchnitte liegenden Lufttheilchen in einerlei Zuſtand; durch die Bewegung eines derſelben iſt daher die Bewegung des ganzen Querſchnittes gegeben. Wiewohl der Stempel ohne Unterbrechung von A nach B und wieder von B nach A gelangt, ſo kann man ſich doch ſeine Wirkung auf die Luftſäule als aus einer Reihe von Stößen zuſammengeſetzt denken, weil ſich die kleinſte Bewegung des Stempels alſogleich der Luft mittheilt und ungemein ſchnell in derſelben fortgepflanzt wird, ſo daß letztere für einen gleich darauf folgenden Stoß als ruhig anzuſehen iſt. So wie nun die Stempelfläche über A, wenn auch noch ſo wenig hinaustritt, ſtoßt ſie auf die Luftſäule, verdichtet die zunächſt an ihr liegenden Lufttheilchen; dieſe thun dasſelbe mit den Lufttheilchen in der zweiten, der wirkenden Fläche parallelen Schichte, eben ſo wirkt die zweite Schichte auf die dritte, u. ſ. f., zugleich wird dieſen Theilchen eine ihrer Verdichtung proportionirte Geſchwindigkeit nach der Richtung ihrer Bewegung mitgetheilt. Bliebe nun auch die bewegte Fläche in ihrer dermaligen Lage, ſo müßte die Verdichtung der Lufttheilchen gleichförmig weiter rücken und immer neue Theilchen treffen, ſo wie ſich der Stoß in einer Reihe elaſtiſcher, einander berührenden Kugeln von gleichen Maſſen fortpflanzt. Dieſes Fortſchreiten kann aber nur nach der Richtung A Z erfolgen, wiewohl die verdichteten Theile nach allen Seiten einen gleichen Druck ausüben; denn ſeitwärts werden ſie durch die Wände der Röhre gehindert, und rückwärts kann ſich die Verdichtung nicht fortpflanzen, weil die Tendenz der Theilchen, vermöge ihrer Verdichtung nach rückwärts zu gehen, durch die ihnen ſchon mitgetheilte Geſchwindigkeit nach vorwärts aufgehoben wird. So wie die Stempelfläche noch weiter von A wegrückt, wiederholt ſie die vorige Wirkung, ertheilt den ihr anliegenden, bereits wieder zur Ruhe gekommenen Lufttheilchen abermals eine Verdichtung, welche ſich auch, wenn dieſe Bewegung der Fläche unmittelbar auf die vorhergehende folgt, an die erſte verdichtete Schichte unmittelbar anſchließt und mit ihr fortrückt. Dieſes geht ſo fort, bis die genannte Fläche in B anlangt, wo ihre Geſchwindigkeit zu Ende iſt. Dieſe

ganze verdichtete Luftmaſſe, welche durch die Excurſion der Stempelfläche von A bis B entſtanden iſt, vertritt die Stelle der bewegten Fläche, und erzeugt vor ſich eine eben ſo lange zweite verdichtete Partie, dieſe eine dritte u. ſ. f. Beim Zurückgehen der Fläche von B nach A entſteht eine verdünnte Luftmaſſe, und dieſe fällt auf denſelben Platz, den vorher die verdichtete einnahm; ſie pflanzt ſich nach derſelben Richtung fort, wie die verdichtete Maſſe, und entfernt ſich demnach immer mehr von B, wiewohl die Lufttheilchen eine entgegengeſetzte Richtung haben und ſich gegen B hin bewegen. Auf ſolche Weiſe erzeugt der Hin- und Hergang des Stempels in der Luftſäule eine verdichtete und eine eben ſo lange verdünnte Partie, wovon ſich jene unmittelbar an dieſe anſchließt und in ſie übergeht. Beide zuſammen machen eine Welle aus. Die Länge beider Stücke zuſammengenommen, heißt die Länge der Welle. Nehmen wir an, der Stempel lege, einem ſchwingenden Pendel ähnlich, die erſte Hälfte AC ſeines Hinganges mit beſchleunigter, die andere Hälfte BC aber mit verzögerter Bewegung zurück, und ein gleiches thue er auch in derſelben Ordnung bei dem Rückgange, ſo daß in A und B ſeine Geſchwindigkeit = o, in C aber am größten erſcheint. Ferner ſey am Ende einer gewiſſen Zeit, vom Urſprunge der Bewegung an gerechnet, die erſte Einwirkung des Stempels in A auf die Luftſäule AZ bis M, die Einwirkung in B bis N, und die zweite Einwirkung in A, am Ende des Rückganges, bis P fortgepflanzt worden, alſo NM der verdichtete und PN der verdünnte Theil der Welle, deren Länge PM iſt. Unter der ſo eben bezüglich der Bewegung des Stempels gemachten Vorausſetzung hat NM in M und N die natürliche, in der Mitte Q aber die größte Dichte, ſo daß dieſe von Q gegen die Enden M und N hier immer kleiner wird; eben ſo haben die Theile des Wellenſtückes NM (nicht die Welle ſelbſt) in M und N die kleinſte, in der Mitte Q die größte Geſchwindigkeit. Auf gleiche Weiſe hat der verdünnte Theil PN der Welle in N und P die natürliche Dichte und die kleinſte Geſchwindigkeit, in der Mitte bei R aber die kleinſte Dichte (größte Verdünnung) und die größte Geſchwindigkeit. Der verdichtete Theil NM und der verdünnte PN der Welle PM haben ſtreng genommen nicht gleiche Längen; erſterer iſt um die ganze Excurſion AB des Stempels kleiner, als der Weg, den die Verdichtung der Luft während des Hinganges des Stempels von A nach B zurücklegt, letzterer um eben ſo viel größer, als der Weg der Verdünnung der Luft während des Zurückgehens des Stempels. Die Länge PM der ganzen Welle iſt demnach dem Wege genau gleich, den die Verdichtung (oder Verdünnung) der Luft während eines Hin- und Herganges des Stempels durchlauft. Macht jedoch der Stempel bloß eine Bewegung in dem Sinne AB ohne zurückzugehen, ſo findet keine verdünnte, ſondern bloß eine verdichtete Welle Statt; eben ſo entſteht bloß eine verdünnte Welle, wenn man bloß eine Bewegung des Stempels im Sinne BA vorausſetzt. Denkt man ſich an der Stelle des Stempels eine Scheidewand in einer nach beiden Seiten ſich erſtreckenden Luftſäule, und läßt man dieſe Scheidewand eine kleine Rü-

ckung vollbringen, ſo entſteht nach der einen Seite hin eine verdichtete und nach der anderen eine verdünnte Welle. Statt des Stempels oder der Scheidewand kann man jede andere Urſache der Verſchiebung der Lufttheile, einen Stoß, eine Exploſion u. dgl. ſetzen, und gelangt dadurch zu ähnlichen Reſultaten.

348. Wenn man die Geſchwindigkeit c, mit welcher irgend eine Einwirkung auf die Luft ſich in einer cylindriſchen Säule derſelben fortpflanzt, nach den ſo eben vorgetragenen Principien beſtimmt, was mit Hülfe der höheren Analyſis geſchehen kann, ſo erhält man dafür, welches auch immer dieſe Einwirkung ſeyn mag, die einfache Formel $c = \sqrt{\frac{E}{D}}$, wobei E die Expanſivkraft, d. h. den Druck der Luft auf die Flächeneinheit, und D die Dichte der Luft anzeigt. Dieſem gemäß ändert ſich c bei conſtanter Temperatur nicht, wenn auch der Barometerſtand ſich ändert, denn das Mariotte'ſche Geſetz lehrt, daß in dieſem Falle das Verhältniß der Expanſivkraft zur Dichte der Luft dasſelbe bleibt. Anders verhält ſich aber die Sache, wenn bei conſtanter Expanſivkraft der Luft die Dichte ſich ändert. Gelten nämlich die obigen Größen c und D für 0° C., und nennen wir die Werthe, welche dieſelben bei der Temperatur T annehmen c' und D', ſo iſt

$$c = \sqrt{\frac{E}{D}},\ c' = \sqrt{\frac{E}{D'}} \text{ und nach 231, } D' = \frac{D}{1 + \alpha T},$$

wobei α der Ausdehnungscoefficient der Luft iſt, folglich hat man

$$c' = \sqrt{\frac{E(1 + \alpha T)}{D}} = c\sqrt{1 + \alpha T}$$

Man kann der Formel $c = \sqrt{\frac{E}{D}}$ noch eine andere Geſtalt geben. Man denke ſich den Druck E, unter dem eine Luftſäule von der Höhe = 1 ſteht, um das Gewicht dieſer Luftſäule vermehrt, ſo wird dadurch, wenn die Luft bloß nach der Länge der Säule ausweichen kann, dieſe Länge um eine Größe, die k heißen mag, verkürzt. Geben wir der Säule die Baſis 1, ſo iſt Dg ihr Gewicht (52), wobei g die Acceleration der Schwere anzeigt, und es iſt $E : E + Dg = 1 - k : 1$ oder $E : Dg = 1 - k : k$ alſo $\frac{E}{D} = \frac{g(1-k)}{k}$ und demnach $c = \sqrt{\frac{g(1-k)}{k}}$. Wegen der Kleinheit von k im Vergleiche mit 1 kann man auch $c = \sqrt{\frac{g}{k}}$ gelten laſſen. Unter dieſer Geſtalt iſt die Formel auf die Fortpflanzung einer longitudinalen Verſchiebung an einer geſpannten Saite, an einem prismatiſchen oder cylindriſchen Stabe und in einer Säule tropfbarer Flüſſigkeit anwendbar. Man braucht alſo nur zu unterſuchen um wie viel ſich die Länge eines Stückes = 1 der Saite, des Stabes, der Flüſſigkeit ändert, wenn es in ſeinem gegenwärtigen Zuſtande durch ſein eigenes Gewicht nach Erforderniß gedehnt oder zuſammengedrückt wird. Dividirt man die Acceleration der Schwere durch dieſe Aenderung, und ſucht die Quadratwurzel des Quo-

tienten, ſo hat man die Geſchwindigkeit der Fortpflanzung einer longitudinalen Einwirkung auf dieſe Körper.

Die erſte Auflöſung der hier beſprochenen Aufgabe hat Newton gegeben. Nach ihm haben ſich die größten Mathematiker, insbeſondere Euler, Lagrange, Laplace und Poiſſon mit dieſem Gegenſtande beſchäftiget.

349. Was in einer cylindriſchen Luftſäule vorgeht, deren Theile in longitudinaler Richtung verſchoben worden ſind, dasſelbe kann auch in freier Luft bei beliebiger Erſchütterung eines Theiles derſelben Statt finden. Man denke ſich in einem Raume eine Exploſion, z. B. durch Knallluft, ſo werden die Lufttheile auswärts getrieben, und gehen ſodann, den entſtandenen leeren Raum ausfüllend, wieder einwärts. Von jedem Puncte der Begrenzung dieſes Raumes geht auf dieſe Weiſe ringsum eine Verdichtung und Verdünnung aus, die, wenn die Luft nach allen Richtungen von einerlei Beſchaffenheit iſt, allenthalben nach der normalen Richtung gleich ſchnell fortſchreitet, jeder dieſer Puncte erzeugt alſo eine oder mehrere kugelförmige Wellen, deren Mittelpunct er iſt, je nachdem er bloß einmal oder mehrere Male auf die Luft einwirkt. Die Bewegung der Lufttheilchen in jeder ſolchen Welle geſchieht nach der Richtung des Halbmeſſers hin und her, jede Seitenbewegung wird durch den Widerſtand der in gleichem Zuſtande der Verdichtung oder Verdünnung befindlichen Lufttheilchen verhindert. Jede einzelne Welle iſt dem gemäß als eine hohle, von concentriſchen Flächen umſchloſſene Kugelſchale anzuſehen, deren jede ſelbſt wieder aus zwei concentriſchen Theilen beſteht, in deren einem die Luft verdichtet, im anderen verdünnt iſt. Alle von den einzeinen Puncten der Begrenzung des Raumes, wo die Erregung der Bewegung Statt fand, ausgehenden Wellen (Elementarwellen) ſetzen ſich zu einer einzigen (wirkſamen) Welle zuſammen, welche gleichſam alle einzelnen in ſich enthält, und, wenigſtens in größerer Entfernung von dieſem Raume im Vergleiche mit ſeinen Dimenſionen als eine Kugelſchale betrachtet werden darf, als deren Centrum irgend ein Punct des genannten Raumes gelten kann. Die Dicke einer ſolchen Schale iſt die Länge der Welle. Dieſe ändert ſich während ihrer Erweiterung nicht, ſondern es nimmt nur die Größe der Verdünnung oder Verdichtung ab. Wenn man ſich innerhalb der beiden Grenzflächen einer ſolchen Welle eine mit ihr concentriſche Kugelfläche denkt, ſo ſind alle auf ihr befindlichen Theile in demſelben Grade verdichtet oder verdünnt, es kann daher kein Theil derſelben ſeitwärts ausweichen und eben ſo wenig zurückgehen; daher bleibt nur die Bewegung nach vorwärts und rückwärts übrig, und jedes Theilchen pflanzt ſeine Bewegung nach der Richtung eines Halbmeſſers der Kugelfläche fort.

350. Der Umſtand, daß unſer Gehörorgan von einer hinreichenden Erſchütterung der Luft afficirt wird, und dieſe als Schall wahrnimmt, gibt ein leichtes Mittel an die Hand, die theoretiſchen Ergebniſſe über die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit einer Erſchütterung der Luft mit der Wirklichkeit zu vergleichen. Erfahrungen dieſer Art macht

man am beſten Nachts, mittelſt Abfeuern von Kanonen, indem man die Zeit mißt vom Augenblicke, wo man das Licht aus einer gemeſſenen Entfernung ſieht, bis zu dem, wo man den Schall hört, und ſie mit der Entfernung vom Orte der Explosion vergleicht. Man hat dabei auf die Stärke und Richtung des Windes wie auch auf Wärme und Feuchtigkeit der Luft die genaueſte Rückſicht zu nehmen, weil dieſe einen Einfluß auf die Geſchwindigkeit der Schallfortpflanzung ausüben. Auf dieſe Weiſe zeigt ſich die Geſchwindigkeit des Fortſchreitens einer Erſchütterung der Luft bei 0° C. nach den genaueſten Verſuchen = 1050 W. Fuß in der Secunde.

Solche Verſuche hat man ſchon in der zweiten Hälfte des ſiebzehnten Jahrhunderts unternommen, und ſie von dieſer Zeit bis auf unſere Tage öfters wiederholt. Allein es blieb noch immer Manches zu wünſchen übrig, beſonders weil man nie im Stande war, Reſultate zu erhalten, die vom Einfluſſe des Windes ganz frei waren. Die in dieſer Hinſicht genügendſten Verſuche ſind jene, welche im Jahre 1823 von Moll (Zeitſch. 1. 213.) und Anderen angeſtellt wurden, wo man an jedem Endpuncte einer genau gemeſſenen Linie in demſelben Augenblicke eine Kanone abfeuerte, die Zeit vom Augenblicke der Lichterſcheinung bis zum Vernehmen des Schalles an beiden Stationen beobachtete, und ſo auf einmal zwei Reſultate erhielt, deren eines durch den Einfluß des Windes vergrößert, das andere eben dadurch verkleinert war, deren Mittelwerth aber als von dieſem Einfluſſe nahe frei angeſehen werden konnte. Es ergab ſich daraus, daß der Schall bei einer Temperatur von 0° C. und in ganz trockener atm. Luft in gleichförmiger Bewegung in einer Secunde 332.244 Meter oder nahe 1050 W./F. zurücklegt. (Pogg. Ann. 5. 351, 469; 19. 115.) Dieſe Geſchwindigkeit kommt dem Schalle in der Luft unter den gegebenen Umſtänden zu, man mag ſeine Ausbreitung nach oben oder in horizontaler Richtung betrachten; denn bei den von Stampfer und Myrbach (Jahrb. des polyt. Inſt. Bd. 7.) angeſtellten Verſuchen hatten die beiden Standpuncte der Beobachter einen Höhenunterſchied von 4198 P. F., und doch fand man ein dem vorigen ſehr nahes Reſultat. (333.2 Meter.) Auch der reflectirte Schall hat nach Gregory's Verſuchen (Zeitſch. 1. 215) mit dem directen einerlei Geſchwindigkeit. Der Wind beſchleunigt ihn nach deſſelben Verſuchen um ſeine eigene Geſchwindigkeit, wenn er mit ihm geht, und verzögert ihn um eben ſo viel, wenn er ihm entgegen kommt. In feuchter Luft bewegt ſich der Schall ſchneller als in trockener, wie Goldingham in Madras ganz außer Zweifel geſetzt hat. Den größten Einfluß auf die Geſchwindigkeit des Schalles hat die Wärme, indem ſie das Verhältniß der Expanſivkraft zur Dichte der Luft, von dem allein die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit abhängt, modificirt. Alle anderen Umſtände haben auf die Geſchwindigkeit des Schalles keinen wahrnehmbaren Einfluß.

In feſten und tropfbaren Körpern geht die Fortpflanzung des Schalles im Einklange mit der obigen Formel ſchneller vor ſich, wie durch die atm. Luft. Biot fand ſie in einer eiſernen Röhre $10^1/_2$mal ſchneller. Chladni fand durch ein ſehr ſinnreiches Mittel, welches erſt ſpäter erklart werden kann, die Geſchwindigkeit des Schalles im Zinn $7^1/_2$mal, im Silber 9mal, im Kupfer nahe 12mal, im Glas 17mal, in gebranntem Thon 10—12mal, in verſchiedenen Hölzern 11—17mal ſchneller als in der atm. Luft. Colladon und Sturm fanden die Geſchwindigkeit des Schalles im Waſſer des Genfer Sees durch directe Verſuche bei 8° C. 1. gleich 1435 M., alſo über 4mal größer als in der

Luft. Im Eiſe und im Waſſer von 0° C. fand man die Schallgeſchwindigkeit gleich groß. Man hat auch die Geſchwindigkeit des Schalles in verſchiedenen Gaſen unterſucht, und das Geſetz beſtätiget gefunden, daß ſie ſich nach dem Verhältniſſe der Expanſivkraft zur Dichte, alſo bei gleichen Temperaturen nach der ſpecifiſchen Expanſivkraft derſelben richte. Dulong fand, daß der Schall bei 0° C. in einer Secunde im Sauerſtoffgas 317,17 Meter, im Waſſerſtoffgas 1269,5 M., im Kohlenſäuregas 261,6 M., im Kohlenoxydgas 387,4 M., im Stickſtoffoxydgas 261,9 M., im Oehlgas 314 M. zurücklege. (Zeitſchr. 6. 502.) Allein wenn man die numeriſchen Werthe, wie ſie die theoretiſche Formel liefert, mit den Reſultaten der Erfahrung vergleicht, ſo zeigt ſich ein namhafter Unterſchied. So gibt die Formel für die Schallgeſchwindigkeit in der Luft nur 279,29 Meter, alſo nahe um 1/6 weniger, als wirkliche Verſuche. Die Urſache dieſes Unterſchiedes liegt, wie Laplace zuerſt bemerkt hat, darin, daß man bei der Deduction dieſer Formel nicht darauf Rückſicht genommen hat, daß ſich die Luft bei der Verdichtung erwärmt, alſo eine größere Expanſivkraft bekommt, und ſich beim Verdünnen erkältet, mithin eine geringere Expanſivkraft erlangt. Da nun die beſchleunigende Kraft, wodurch die Fortpflanzung erzeugt wird, in dem Unterſchiede der Expanſivkraft der verdichteten oder verdünnten Luft gegen die Expanſivkraft der in ihrer natürlichen Dichte befindlichen liegt, und dieſer Unterſchied bei der verdichteten Luft durch Erwärmung, bei der verdünnten durch Erkältung erhöht wird; ſo muß in erwähnter Formel der Werth von E vergrößert werden. Es laſſen ſich Mittel ausfindig machen, die Vergrößerung von E zu beſtimmen, ohne die durch die Erfahrung gegebene Geſchwindigkeit des Schalles in der Luft dabei zu benützen. Die darnach geführte Rechnung ſtimmt mit der Erfahrung hinreichend überein, um die Richtigkeit der Laplace'ſchen Behauptung außer Zweifel zu ſetzen.

351. Das Gleichgewicht der Theile einer geſpannten Saite, eines Stabes u. dgl. kann auch durch transverſale, d. h. ſenkrecht auf die Richtung der Länge angebrachte Verſchiebung dieſer Theile geſtört werden, was ebenfalls zu einer Wellenbewegung Veranlaſſung gibt. Es ſey AB, Fig. 144, eine geſpannte Saite oder Schnur, und es ſeyen die Theile eines Stückes AC ein wenig ſeitwärts gezogen. Werden dieſe ſich ſelbſt überlaſſen, ſo müſſen ſie ſich nothwendig gegen ihre frühere Lage hinbewegen. Während ſie dieſes thun, werden die Theile des nächſten Stückes CD ſeitwärts gezogen, die ihrerſeits wieder die Theile eines folgenden Stückes ſeitwärts ziehen, dagegen das Stück AC hindern, über die Gleichgewichtslage nach der entgegengeſetzten Seite auszuweichen. So entſteht eine an der Schnur fortlaufende transverſale Ausbeugung, welche dem verdichteten Theile einer longitudinalen Welle analog iſt. Theoretiſchen Unterſuchungen zufolge wird die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit c einer ſolchen transverſalen Welle an einer cylindriſchen durch das Gewicht q geſpannten Saite, deren Länge $=1$, und deren Gewicht $=p$ iſt, durch die Formel $c=\sqrt{\frac{glq}{p}}$ ausgedrückt. Die Uebereinſtimmung derſelben mit der Erfahrung iſt durch der Brüder Weber ſorgfältige Verſuche außer Zweifel geſetzt. Da dieſer Ausdruck von jenem, welcher die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit einer longitudinalen Welle angibt, verſchieden iſt,

ſo folgt daraus, daß wenn die urſprüngliche Verſchiebung eines Theiles einer Saite eine ſchiefe iſt, ſo daß man ſelbe in einen longitudinalen und in einem transverſalen Antheil zerlegen kann, ſich zwei Wellen, eine longitudinale und eine transverſale, bilden müſſen, die geſondert von einander mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten fortſchreiten.

352. Die Fortpflanzung einer partiellen Erſchütterung in einer Luftmaſſe, wie ſelbe in 349 betrachtet wurde, iſt nur ein beſonderer Fall deſſen, was in einem Inbegriffe von materiellen Theilchen, die durch Molecularkräfte zuſammengehalten werden, vor ſich gehen kann. So wie an einer geſpannten Saite irgend eine ſchiefe Ausbeugung ſich in eine longitudinale und in eine transverſale Welle ſpaltet, weil ſich Schwingungen der einen und der andern Art an der Saite nicht gleich ſchnell fortpflanzen, eben ſo findet in einem elaſtiſchen Körper, allgemein zu reden, eine Theilung der Bewegungen Statt, weil ein ſolcher Körper nicht geeignet iſt, jede Art von Verſchiebung ſeiner Theilchen auf einerlei Weiſe fortzupflanzen, ja es gibt Fälle, in welchen er zur Fortpflanzung gewiſſer ſchwingenden Bewegungen gar nicht geeignet erſcheint. Alles dieſes hängt von der Anordnung der materiellen Theilchen in Hinſicht auf ihre Maſſen, ihre Diſtanzen, und die Kräfte, denen ſie unterliegen, ab, was durch neuere analytiſche Unterſuchungen, wie ſie Fresnel und beſonders Cauchy angeſtellt haben, in volles Licht geſetzt worden iſt. Unkryſtalliniſche Subſtanzen, wie auch nach dem teſſularen Syſteme kryſtalliſirte Stoffe ſind ſo gebildet, daß eine Verſchiebung der Theilchen, die darin fortgepflanzt wird, ſich nach allen Richtungen mit gleicher Geſchwindigkeit verbreitet. In dieſem Falle ſagt man, das Medium habe nach allen Richtungen einerlei Elaſticität. In kryſtalliſirten Subſtanzen, deren Grundgeſtalt vom Würfel abweicht, pflanzen ſich ſchwingende Bewegungen derſelben Art nach verſchiedenen Richtungen mit verſchiedener Geſchwindigkeit fort, und man ſagt von ſolchen Stoffen, ſie zeigen eine veränderliche Elaſticität. Begreiflich hat dieſer Umſtand auf die Geſtalt der Fläche, welche die Orte der gleichzeitigen Ankunft der von einer erſchütterten Stelle ausgehenden Vibrationen mit einander verbindet, welche Fläche man die Wellenfläche nennt, einen großen Einfluß. Nur in ſo fern die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit nach allen Richtungen dieſelbe Größe hat, entſteht eine ſphäriſche Welle. Im Allgemeinen bleibt die Geſtalt der Wellenfläche während ihre Ausbreitung der Art nach dieſelbe, dieſe Fläche alſo ſich ſelbſt ſtets ähnlich. Darf man die Größe des Raumes, worin die urſprüngliche Erſchütterung Statt findet, nicht als ſehr klein betrachten, ſo muß man jeden Punct deſſelben oder wenigſtens ſeiner Begrenzung als einen beſonderen Mittelpunct der Erſchütterung anſehen, der ſeine eigene Wellenfläche erzeugt. Der Inbegriff aller, einem gegebenen Augenblick entſprechenden Wellenflächen beſtimmt den Raum, wohin die Bewegung in dieſem Augenblicke vorgedrungen iſt.

353. Iſt ein Medium nach allen Richtungen gleich elaſtiſch, ſo können ſich in demſelben, falls überhaupt eine Fortpflanzung der

ſchwingenden Bewegung darin möglich iſt, nach jeder gegebenen Richtung nur zweierlei Schwingungsarten fortpflanzen. Entweder ſchwingen die Theilchen des Mediums längs dieſer Richtung, d. h. ſie gehen in geraden Bahnen, die in dieſe Richtungen fallen, hin und her, und die Schwingung heißt longitudinal, oder ſie beſchreiben beliebige Bahnen, die in einer auf der Fortpflanzungsrichtung ſenkrechten Ebene liegen, und die Schwingung heißt transverſal. Jeder dieſer Schwingungsweiſen gehört, da ſie mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten fortgepflanzt werden, eine eigene kugelförmige Wellenfläche. Eine willkürliche Bewegung eines Theilchens des Mediums kann man hinſichtlich jeder Fortpflanzungsrichtung in eine longitudinale und in eine transverſale zerlegen. Weil beiden Bewegungsarten verſchiedene Fortpflanzungsgeſchwindigkeiten zukommen, ſo werden ſie ſich im erſten Augenblicke trennen und abgeſondert fortſchreiten. Daher bringt im Allgemeinen eine willkürliche Erſchütterung des Mediums, bei deſſen hier vorausgeſetzter Beſchaffenheit, zwei getrennte ſphäriſche Wellen hervor, in deren einer longitudinale, in der anderen transverſale Vibrationen Statt finden. Die longitudinalen Schwingungen geſchehen, den Ergebniſſen der Rechnung gemäß, mit Verdichtungen und Verdünnungen des Mediums; die transverſalen ſind mit keiner merklichen Aenderung der Dichte verbunden.

354. Wendet man den höheren Calcul auf den Fall an, wenn ein Medium nach verſchiedenen Richtungen verſchiedene Elaſticität beſitzt, jedoch die Anordnung ſeiner Theilchen hinſichtlich entgegengeſetzter Richtungen eine übereinſtimmende iſt, eine Annahme, die ſich mit der Bildungsform der zu den verſchiedenen einarigen Syſtemen (159, 161) gehörenden Kryſtalle verträgt, ſo ergibt ſich die Folgerung, daß hinſichtlich jeder Fortpflanzungsrichtung nur dreierlei, mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten fortſchreitende Schwingungen Statt haben können, bei deren jeder die Theilchen des Mediums geradlinige auf einander wechſelweiſe ſenkrechte Bahnen beſchreiben. Von dieſen Schwingungen erfolgt eine longitudinal, d. h. genau oder wenigſtens nahe nach der Richtung der Fortpflanzung der Bewegung, die beiden anderen aber ſind transverſale. Zwei transverſale Schwingungsweiſen, die in regelmäßigen, mit einander in einem gewiſſen Gegenſatze der Lage ſtehenden Bahnen vor ſich gehen, nennt man in Beziehung zu einander polariſirte; ſind die Bahnen unregelmäßig, ſo heißen ſie unpolariſirte. Es finden daher in dem vorliegenden Falle polariſirte und zwar geradlinig polariſirte Schwingungen Statt, zum Unterſchiede von ſolchen transverſalen Schwingungen, bei denen die Theilchen des Mediums kreisförmige oder elliptiſche Bahnen beſchreiben, und die dann circular oder elliptiſch polariſirte heißen. Letztere, welche, je nachdem ſie vom Urſprunge der Bewegung angeſehen von der Linken gegen die Rechte, oder umgekehrt vor ſich gehen, mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten fortſchreiten, treten in kryſtalliniſchen Medien auf, deren Theilchen nicht längs entgegengeſetzten Richtungen übereinſtimmend geſtellt ſind,

ſondern eine andere, jedoch reguläre Anordnung haben, z. B. eine ſchraubenförmige, worauf gleichfalls die Bildung gewiſſer Kryſtallformen, namentlich jene des Quarzes oder Bergkryſtalls hindeutet. Es iſt wohl zu merken, daß unkryſtalliniſche oder teſſular kryſtalliſirte Medien ebenfalls geradlinige oder circular oder elliptiſch polariſirte Schwingungen fortzupflanzen vermögen, denn ſie ſind fähig, jede beliebige transverſale Schwingung fortzupflanzen, während in den übrigen kryſtalliniſchen Medien lediglich polariſirte transverſale Schwingungen ſich ungeändert erhalten, andere transverſale Schwingungen aber ſogleich in polariſirte zerfallen. Unter den kryſtalliniſchen Medien, die nicht nach allen Richtungen einerlei Elaſticität zeigen, pflanzen die rhomboedriſchen und pyramidalen doch nach den Richtungen, die in einer ſenkrecht auf der Kryſtallaxe ſtehenden Ebene ſich befinden, die Schwingungen gleich ſchnell fort. In dieſem Falle ſind die Wellenflächen, welche den drei geradlinigen Schwingungsweiſen entſprechen, im Allgemeinen concentriſche Rotationsellipſoide, deren Rotationsaxe mit der Kryſtallaxe parallel lauft, und es geht eine der transverſalen Schwingungen in der durch die Fortpflanzungsrichtung und die Kryſtallaxe gelegten Ebene vor ſich. In ſo fern die Beſchaffenheit des Mediums gewiſſen Bedingungen Genüge leiſtet, verwandelt ſich eines der Ellipſoide in eine Kugel. Der Ausdruck für die Wellenfläche bei der allgemeinſten Beſchaffenheit eines kryſtalliſirten Mediums iſt complicirt, nimmt aber unter gewiſſen Hypotheſen über die Anordnung der Theilchen des Mediums eine einfachere Form an. Ueber die Zuläßigkeit ſolcher Hypotheſen entſcheidet die Vergleichung der darauf ſich gründenden Folgerungen mit der Erfahrung. Beiſpiele hievon werden an einem anderen Orte (in der Lehre vom Lichte) vorkommen.

355. Ein ſehr fruchtbares Hilfsmittel bei der Unterſuchung der Fortpflanzung einer ſchwingenden Bewegung in einem Syſteme materieller Theilchen iſt die Zuſammenſetzung und Zerlegung der Schwingungen. Aus der Form der Grundgleichungen, welche die Analyſis für die ſchwingende Bewegung aufſtellt, ergibt ſich die Folgerung, welche übrigens, ihrer Einfachheit wegen, kaum eines Beweiſes zu bedürfen ſcheint, daß, wenn durch das Zuſammentreffen von Wellen zwei oder mehrere Bewegungsarten bis zu einem beſtimmten Körpertheilchen fortgepflanzt werden, dieſes gerade diejenige Bewegung annimmt, welche aus der Zuſammenſetzung der einzelnen Bewegungsarten hervorgeht; ſo wie umgekehrt, jede Schwingungsweiſe eines Körpertheilchens als das Reſultat des Zuſammenbeſtehens jener betrachtet werden darf, in welche die Bewegung des Körpertheilchens zerlegbar iſt, und die einzeln genommen in dem Körper hätten fortgepflanzt werden können. Man nennt das Aufeinanderwirken zweier zuſammentreffenden Wellen die Interferenz derſelben. Sonach reducirt ſich der Erfolg der Interferenz auf eine bloße Zuſammenſetzung der durch die interferirenden Wellen bedingten Bewegungen. Die nächſte Folgerung hieraus iſt, daß, wie mannigfaltig und unregelmäßig auch immer die Urſache wirken mag, durch welche der Körper in Bewegung

verſetzt wird, die Bewegung deſſelben ſich ſtets als das Reſultat der Zuſammenſetzung unendlich vieler, höchſt einfacher und regelmäßiger Schwingungsarten darſtellt, deren jede einzelne für ſich hätte erregt und fortgepflanzt werden können, und die ſich bloß durch die Zeit, binnen welcher jede einzelne Schwingung vollbracht wird (in Folge deſſen auch durch die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit), unterſcheiden. Hiedurch reducirt ſich das ganze Geſchäft auf die Betrachtung der Fortpflanzung dieſer einfachen Schwingungen, bei welchen, wie aus dem oben Geſagten erhellet, die Körpertheilchen entweder geradlinige oder kreisförmige oder elliptiſche Bahnen beſchreiben. Die elliptiſche Form der Bahn ſtellt ſich als die allgemeinſte dar, weil ſie einerſeits die Kreisform, als Ellipſe ohne Excentricität oder mit gleichen Axen, andererſeits die geradlinige, als Ellipſe deren kleinere Axe = o geworden iſt, in ſich begreift. Es darf aber auch die Bewegung in einer Ellipſe als das Reſultat gleichzeitig vorhandener, nach verſchiedenen Richtungen vor ſich gehender geradlinigen Bewegungen betrachtet werden, wenn gleich letztere nicht in allen Fällen einzeln fortgepflanzt werden können. Wir wollen nun die Beſchaffenheit der einfachen Schwingungen der Theilchen eines elaſtiſchen Syſtems näher ins Auge faſſen.

356. Es ſey A, Fig. 145, die Ruhelage eines Körpertheilchens, BAB' die Gerade, längs welcher es hin- und herſchwingt, und M ein Punct dieſer Bahn, worin es ſich während ſeines Fortſchreitens von A gegen B hin in einem beſtimmten Augenblicke befindet. Hier erfährt es durch die Einwirkung der benachbarten Theilchen eine Verzögerung, die mit um ſo größerer Kraft geſchieht, je weiter das ſich bewegende Theilchen von A abſteht, und endlich, wenn dasſelbe bis B gekommen iſt, ſeine Geſchwindigkeit ganz aufgehoben hat. Dieſelbe Kraft treibt es nun gegen A zurück, und beſchleuniget ſeine Bewegung; geſchieht dieſes fortwährend bis es in A eintrifft, ſo hat es dort die größte Geſchwindigkeit, die beſchleunigende Kraft aber iſt gleich Null. Zufolge ſeiner Trägheit ſetzt nun das Theilchen ſeine Bewegung gegen B' hin fort, die aber jetzt aus demſelben Grunde wie vorhin eine verzögerte iſt, bis endlich in B' die Geſchwindigkeit abermal verſchwindet, und ſodann von B' gegen A hin wieder eine nach demſelben Geſetze beſchleunigte Bewegung, wie bei dem Gange von B gegen A, eintritt. Nimmt man AM' = AM, ſo hat das Theilchen in M und M' ſtets dieſelbe Geſchwindigkeit, nur iſt die Richtung derſelben bei zwei unmittelbar auf einander folgenden Durchgängen durch M oder M' eine entgegengeſetzte. Der Punct der Bahn, worin ein Körpertheilchen ſich in einem Augenblicke befindet, in Verbindung mit der Richtung, nach der es ſeine Bewegung fortſetzt, beſtimmt den dieſem Zeitpuncte entſprechenden Bewegungszuſtand oder die Phaſe des Theilchens; die von einem fixen Augenblicke an gezählte Zeit, nach welcher eine gegebene Phaſe Statt hat, heißt die Phaſenzeit; die Zeit, welche zwiſchen dem Eintreten zweier unmittelbar auf einander folgenden gleichen Phaſen verfließt, iſt die Dauer einer Schwingung (Undulationszeit; bei einem Pendel wäre es, nach der früher

gebrauchten Benennung die Dauer einer Doppelſchwingung) der größte Abſtand des Theilchens von ſeiner Gleichgewichtslage, nämlich AB = AB' heißt die Schwingungsweite (Amplitude), und die größte Geſchwindigkeit, die das Theilchen während ſeiner Schwingung erreicht, nämlich diejenige mit der es in A ankommt, heißt die Intenſität der Schwingung. Phaſen, in welchen ein Körpertheilchen ſich rückſichtlich ſeiner Gleichgewichtslage in entgegengeſetzten Stellungen, wie z. B. M und M' ſind, befindet, und zugleich entgegengeſetzte Bewegungsrichtungen hat, mithin gleiche und entgegengeſetzte Geſchwindigkeiten beſitzt, heißen entgegengeſetzte Phaſen, und ſind um die Hälfte einer Schwingungsdauer (im Allgemeinen um ein ungerades Vielfache einer halben Schwingungsdauer) von einander entfernt. Aehnliche Benennungen ſind auch auf den Fall anwendbar, wenn das Theilchen in einer elliptiſchen Bahn ſich bewegt. Es ſey, Fig. 146, BMB'M' eine ſolche, BB' ihre größere, CC' ihre kleinere Axe, A ihr Mittelpunct, ſo iſt AB = AB' die Schwingungsamplitude, die Geſchwindigkeit in C oder C' iſt die Schwingungsintenſität, und das Theilchen erſcheint, wenn es ſich in den Endpuncten M, M' eines Durchmeſſers der Bahn befindet, in entgegengeſetzten Phaſen. Geht die Bewegung in dem Sinne CMBM' vor ſich, ſo iſt ſie in den Quadranten CB, C'B' eine verzögerte, in den Quadranten BC', B'C aber eine beſchleunigte. Bewegt ſich ein Körpertheilchen in einem Kreiſe, ſo iſt ſeine Bewegung gleichförmig, der Halbmeſſer der Bahn beſtimmt die Schwingungsamplitude, und die Geſchwindigkeit gibt die Intenſität der Bewegung an.

357. Bei der Fortpflanzung einer einfachen ſchwingenden Bewegung geht die Phaſe eines Theilchens des Mediums auf die in der Richtung der Fortpflanzung befindlichen nächſten Theilchen mit gleichförmiger Geſchwindigkeit über, und die Bahnen der Theilchen bleiben einander ähnlich, wenn gleich die Dimenſionen derſelben um ſo kleiner ausfallen, je weiter die Bewegung fortgeſchritten iſt. Verfolgt man die Richtung der Bewegung, ſo erſcheinen an einander gereihte Theilchen in demſelben Augenblicke in verſchiedenen Phaſen, und von zwei von einander entlegenen Theilchen das im Sinne der Fortpflanzung der Bewegung entferntere, in einer um ſo früheren Phaſe, je größer die Diſtanz der Theilchen iſt. Der einmal vorhandene Phaſenunterſchied bleibt ſich, wenn die Bewegung auf dieſelbe Weiſe fortgeſetzt wird, fortwährend gleich. Beträgt der Phaſenunterſchied eine ganze Umlaufszeit oder ein Vielfaches derſelben, ſo ſtimmen die Phaſen der Theilchen überein. Die kleinſte Diſtanz zweier ſchwingenden Theilchen, die ſich gleichzeitig in einerlei Phaſe befinden, iſt die Wellenlänge; ſie kommt dem Wege gleich, den die Welle während des Umſchwunges eines Theilchens zurücklegt. Iſt daher L die Wellenlänge, V die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Schwingungen und T die Dauer einer Schwingung, ſo beſteht die Gleichung L = VT. Innerhalb einer Wellenlänge ſtehen die Theilchen gleichzeitig nach der Ordnung in den Phaſen, wie ſelbe während einer Schwingung auf einander folgen.

Zwei Theilchen, deren Abſtand der Hälfte einer Wellenlänge gleich iſt, ſind in demſelben Augenblicke in entgegengeſetzten Phaſen. Ueberhaupt ſind die Phaſen zweier Theilchen gleich, wenn die Entfernung derſelben ein Vielfaches der Wellenlänge, und ihre Phaſen ſind entgegengeſetzt, wenn ihre Entfernung ein ungerades Vielfaches der halben Wellenlänge ausmacht. Hiernach läßt ſich leicht einſehen, daß bei der Interferenz zweier gleich langen Wellen, denen Schwingungen nach einerlei Richtung entſprechen, eine Summirung oder eine Subtraction der Intenſitäten der Schwingung Statt findet, je nachdem die coincidirenden Phaſen übereinſtimmen oder um eine halbe Undulation von einander abweichen. Sind die Intenſitäten der interferirenden Schwingungen gleich, ſo wird die Bewegung in dem zweiten Falle gänzlich getilgt.

358. Die Bewegung jedes Theilchens eines elaſtiſchen Syſtems bei den ſo eben betrachteten einfachen Schwingungsweiſen iſt eine Centralbewegung, wobei die gegen den Mittelpunct A der Ellipſe, des Kreiſes oder der geraden Linie gerichtete, aus der Geſammtwirkung der benachbarten Theilchen entſpringende Centripetalkraft dem Abſtande des Theilchens von dieſem Mittelpuncte direct proportionirt iſt. Hier kann aus dieſem Geſetze der Kraft nur das Geſetz der geradlinigen Schwingung abgeleitet werden. Dieſe ſtimmt mit der oſcillirenden Bewegung eines einfachen ſchweren Pendels, deſſen anfängliche Elongation ſehr klein iſt, überein, denn auch in dieſem Falle ſteht die Kraft, die den ſchweren Punct in ſeiner Bahn beſchleunigt oder zurückhält, mit dem Abſtande deſſelben von der Ruhelage in geradem Verhältniſſe. Es ſey, unter der Vorausſetzung, daß ſich das geradlinig ſchwingende Theilchen im Puncte M, Fig. 145, ſeiner Bahn BB' befinde, und der Abſtand deſſelben von ſeinem Orte A im Zuſtande des Gleichgewichtes, nämlich AM durch x, ferner ſeine Maſſe durch m vorgeſtellt werde, die Kraft, welche es afficirt $= hmx$, wobei h einen unveränderlichen Werth hat. Betrachten wir jetzt ein Pendel AB, Fig. 120, welches während ſeiner ſchwingenden Bewegung aus der Lage AC in die Lage AM gekommen iſt, und ſetzen wir deſſen Länge $AB = l$, die Acceleration der Schwere $= g$ und die Maſſe des ſchweren Punctes $= m$, ſo iſt $gm \,.\, \sin MAB$ (283) der Ausdruck der denſelben gegen B hintreibenden Kraft. Aber das rechtwinkelige Dreieck AMP gibt $\sin MAB = \frac{MP}{AM}$, oder, weil man wegen der Kleinheit des Winkels MAB ſtatt MP auch den Bogen MB, den wir x nennen wollen, ohne merklichen Fehler ſetzen darf, $\sin MAB = \frac{MB}{AM} = \frac{x}{l}$, daher iſt genannte Kraft $= \frac{g}{l} mx$. Denkt man ſich demnach die Länge l des Pendels ſo gewählt, daß $\frac{g}{l} = h$ iſt, ſo ſtimmt die Bewegung deſſelben mit jener des Körpertheilchens überein. Bezeichnet man CB durch a, ſo findet man nach 291: $x = a \sin (t\sqrt{h})$, und wenn die in M Statt

findende Geſchwindigkeit des Pendelpunctes v heißt, $v = c\ cos\ (t\sqrt{h})$. Hätte man v mit a ſtatt c verglichen, ſo hätte man an die Stelle des Factors c in dieſer Formel die Größe $a\sqrt{\frac{g}{l}} = a\sqrt{h}$ erhalten. Es iſt demnach $c = a\sqrt{h}$. Bezeichnet man die Dauer einer Doppelſchwingung des Pendels durch T, ſo iſt $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{2\pi}{\sqrt{h}}$, mithin $\sqrt{h} = \frac{2\pi}{T}$. Hiedurch verwandeln ſich die ſo eben gefundenen Formeln in

$$x = a\ sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right) \text{ und } v = c\ cos\left(2\pi\frac{t}{T}\right), \text{ und es iſt } c = \frac{2\pi a}{T}.$$

Dieſe Formeln gelten, dem oben Geſagten gemäß, auch für die Bewegung eines geradlinig oſcillirenden Theilchens eines elaſtiſchen Mediums, wobei x den Abſtand desſelben von ſeiner Gleichgewichtslage am Ende der Zeit t, v ſeine Geſchwindigkeit, a die Amplitude, c die Intenſität und T die Dauer der Schwingung vorſtellt. Die durch dieſelben dargebotenen Reſultate laſſen ſich folgendermaßen ausſprechen: Nimmt man auf der Peripherie eines Kreiſes, deſſen Halbmeſſer = 1 iſt, einen Bogen, der ſich zur ganzen Peripherie verhält, wie die Phaſenzeit zur Schwingungsdauer, ſo verhält ſich der Abſtand des ſchwingenden Theilchens zur Amplitude, wie der Sinus dieſes Bogens zur Einheit, und die Geſchwindigkeit des Theilchens zur Schwingungsintenſität, wie der Coſinus desſelben Bogens zur Einheit.

359. Aus den obigen Formeln ergeben ſich ſehr wichtige Reſultate in Hinſicht auf die Zuſammenſetzung der ſchwingenden Bewegungen bei der Interferenz der Wellen. Wir beſchränken uns hier auf folgende zwei: 1) Iſt ein ſchwingendes Theilchen gleichzeitig zwei geradlinigen Bewegungen von einerlei Schwingungsdauer unterworfen, deren Richtungen einen Winkel bilden, und deren Phaſen übereinſtimmen, ſo entſpringt daraus wieder eine geradlinige Schwingung von derſelben Dauer, deren Amplitude und Schwingungsintenſität durch die Diagonale der Amplituden und Schwingungsintenſitäten der Componenten ausgedrückt wird. Es ſey nämlich AB, Fig. 147, die Amplitude und Richtung der einen, AB′ jene der andern Componente, ſo erreicht das oſcillirende Theilchen, weil es den Componenten zu Folge in demſelben Augenblicke in B und B′ geweſen wäre, durch das Zuſammenwirken beider in dieſem Augenblicke den Endpunct C der Diagonale des Parallelogramms, deſſen Seiten AB und AB′ ſind. Es beſchreibt aber auch dieſe Diagonale. Denn befindet es ſich am Ende der Zeit t den Componenten gemäß in M und M′, ſo iſt

$$AM = AB\ sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right),\ AM' = AB'\ sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right),$$

mithin $AM : AM' = AB : AB'$. Es liegt daher der Endpunct N der Diagonale AN des Parallelogramms, deſſen Seiten AM und AM′ ſind, mit A und C in einerlei Richtung. 2) Iſt ein ſchwingendes Theilchen gleichzeitig zwei geradlinigen Schwingungen von einerlei Dauer unterworfen, deren Amplituden, mithin auch die Schwingungsintenſitäten gleich ſind, deren Phaſenzeiten aber um ein Viertel der

Schwingungsdauer unterſchieden ſind, und deren Richtungen einen rechten Winkel bilden, ſo iſt die reſultirende Schwingung eine kreisförmige, deren Halbmeſſer die gemeinſchaftliche Amplitude iſt, und welche mit einer der gemeinſchaftlichen Schwingungsintenſität gleichen Geſchwindigkeit vor ſich geht. Es ſeyen A M und A M′, Fig. 148, die Abſtände des Körpertheilchens von der Ruhelage A in Folge der beiden Bewegungen, t, t′ die Phaſenzeiten, ſo iſt

$$AM = a \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right),\ AM' = a \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right).$$

Aber es ſoll $t' - t = \frac{1}{4}T$, d. h. $t' = \frac{1}{4}T + t$ ſeyn, dieß gibt

$$AM' = a \sin\left(\frac{\pi}{2} + 2\pi\frac{t}{T}\right) = a \cos\left(2\pi\frac{t}{T}\right),$$

mithin $AN^2 = AM^2 + MN^2 = AM^2 + AM'^2 = a^2$, daher $AN = a$. Es iſt alſo der Abſtand des Körpertheilchens vom Puncte A während der ganzen Bewegung unveränderlich und = a, wodurch erwieſen iſt, daß es einen Kreis vom Halbmeſſer a beſchreibt. Eben ſo läßt ſich zeigen, daß die Geſchwindigkeit der Bewegung = c iſt. Beträgt der Phaſenunterſchied der Componenten mehr oder weniger als ein Viertel der Schwingungsdauer, oder ſind die Amplituden derſelben ungleich, ſo entſteht eine elliptiſche Schwingung.

360. Unter den fortſchreitenden Schwingungen, bei welchen die Molecularkräfte der Körpertheilchen eine nur untergeordnete Rolle ſpielen, und der Hergang der Fortpflanzung der Bewegung vornehmlich von äußeren Kräften abhängt, iſt die Wellenbewegung tropfbarer Flüſſigkeiten, bei welchen die Gleichheit des hydroſtatiſchen Druckes durch theilweiſe Einwirkung auf die Oberfläche geſtört wurde, die wichtigſte, und zeichnet ſich durch einen eigenthümlichen Charakter aus. Wellen, welche auf dieſe Weiſe in tropfbaren Flüſſigkeiten erſtehen, zeigen ſich als Erhöhungen und Vertiefungen, wovon jene über, dieſe unter der Horizontalebene der ruhenden Oberfläche liegen. Erſtere heißen Wellenberge, letztere Wellenthäler. Iſt A C (Fig. 149) eine horizontale Linie, A D B ein Durchſchnitt eines Wellenberges, B E C der eines Wellenthales, und ſchreitet die Welle längs A C fort, ſo heißt A D der Hintertheil, D B der Vordertheil des Wellenberges, B E der Hintertheil, E C der Vordertheil des Wellenthals, C der Anfangspunct, A der Endpunct der Welle. Die Entfernung des höchſten Punctes des Wellenberges von der Horizontalen iſt die Höhe des Wellenberges, die Entfernung des tiefſten Punctes des Wellenthales von derſelben Horizontalen, die Tiefe des Wellenthals, die Summe D F + G E aus der Höhe eines Wellenberges und der Tiefe des dazu gehörigen Wellenthals die Höhe der ganzen Welle. A B heißt die Breite (Länge) des Wellenberges, B C die des Wellenthals, A C die Breite der ganzen Welle. Jeder Wellenberg hat nach oben eine convexe, jedes Wellenthal eine concave Krümmung, beide gehen zwar ſtetig in einander über, es iſt aber die Krümmung eines Wellenberges mit der des dazu gehörigen Wellenthals keineswegs congruent, ja nicht einmal der Vordertheil eines

Wellenberges iſt mit ſeinem Hintertheile gleich geſtaltet, wie man am beſten ſieht, wenn man in einem mit Queckſilber gefüllten Gefäße eine Welle erregt, und parallel mit der Richtung ihres Fortſchreitens eine mit Mehl beſtaubte Schiefertafel hineinſetzt, damit die Welle den Staub wegnehme und ſich gleichſam ſelbſt abbilde. Die Wellen erſtrecken ſich in ſehr bedeutende Tiefen, wie man vorzüglich aus dem Trüben des Waſſers über einem ſchlammigen Grunde erſieht, wenn dasſelbe Wellen ſchlägt.

Die zur Hervorbringung einer ſolchen Wellenbewegung erforderliche theilweiſe und ungleichförmige Aufhebung des Gleichgewichtes kann auf mannigfaltigem Wege zu Stande kommen. So z. B. erregt ein Wind, der längs des Waſſers hinſtreicht, durch bloße Reibung kleine Wellen, größere, wenn ſeine Richtung ſchief iſt. Auf gleiche Weiſe werden Wellen erregt, wenn man einen ſchweren Körper in eine tropfbare Flüſſigkeit fallen läßt, oder mittelſt einer Röhre durch Saugen einen Theil derſelben plötzlich herauszieht, wohl auch, indem man eine Flüſſigkeit durch Stoßen erſchüttert Unter dieſen Erregungsmitteln ſind die letzteren zur Unterſuchung der Geſetze der Wellenbewegung bie geeignetſten, weil die dadurch entſtandenen Wellen ſich ſelbſt überlaſſen bleiben und nicht durch den Einfluß fremder Kräfte geſtört werden.

361. Läßt man ein kleines Steinchen in ruhiges Waſſer fallen, ſo bildet ſich gleich nach dem Eindringen desſelben an der getroffenen Stelle eine kleine Vertiefung und rings um dieſelbe ein kreisförmiger, erhöhter Wall. Dieſer theilt ſich bald darauf in zwei Theile, wovon einer nach außen fortgeht und eine kreisförmige, ſich beſtändig erweiternde Welle bildet, deren Mittelpunct der getroffene Punct iſt, während der andere nach innen fortſchreitet, und die im Mittelpuncte der Welle befindliche Flüſſigkeit in die Höhe treibt. Der ſo aufwärts getriebene Theil ſinkt wieder zurück, und ſpielt dabei dieſelbe Rolle, wie das zuerſt hineingeworfene Steinchen, und ſo kommt es, daß bei hinreichend tiefem Waſſer und einer bedeutenden Fallhöhe des heineingeworfenen Körpers, ein zwei- oder dreimaliges Aufſteigen des Waſſers an der vorhin genannten Stelle Statt findet, deren jedes wieder ſeine eigene, aber immer ſchwächere Welle erregt. Iſt das Waſſer um den Mittelpunct der Welle ruhig geworden, ſo bemerkt man, daß die letzte, mithin kleinſte Welle während ihres Fortſchreitens auch noch wie obiger Wall neue Wellen erregt; denn man ſieht an der Stelle, welche ſie verlaſſen hat, immer wieder eine kleinere Welle entſtehen, die aber nur nach außen fortſchreitet. Durch dieſe Rückwirkung der Wellen muß offenbar jede durch die ihr zunächſt vorausgehende verſtärkt werden. Bei genauerer Aufmerkſamkeit zeigt die Erfahrung ſelbſt vor der zuerſt entſtandenen, unmittelbar durch den Stoß erzeugten Welle mehrere concentriſche, größere und ſchwächere Wellen, bei denen es den Anſchein hat, als wären ſie durch ein ſtoßweiſe immer ſtärker werdendes Ausweichen des Waſſers beim Hineinfallen des Steines erregt worden. Aus dem Geſagten ſieht man, daß ein Stoß gegen eine tropfbare Flüſſigkeit mehrere Wellen erregt.

362. Die ſo erzeugten Wellen erweitern ſich beſtändig und

bleiben dabei kreisförmig, wenn ihnen kein Hinderniß in den Weg kommt: ja ſelbſt ſolche Wellen, die beim Entſtehen eine von der Kreisform abweichende Geſtalt haben, nähern ſich dieſer beim Erweitern immer mehr. Trifft eine Welle beim Fortſchreiten auf einen in der Flüſſigkeit ſchwimmenden Körper; ſo hebt und ſenkt ſie ihn um ihre eigene Höhe, ertheilt ihm aber keine fortſchreitende Bewegung. Bei Wellen, die im fließenden Waſſer erregt werden, fließt der Mittelpunct mit der dem Waſſer eigenen Geſchwindigkeit fort, ohne Störung der Wellenbewegung, wie man leicht ſieht, wenn man ein Stück Holz in ſolches Waſſer wirft; denn dieſes bleibt ſtets im Centrum der erregten Welle und wird dabei ſtromabwärts getragen. Läßt man in einem ſchmalen, langen, viereckigen Gefäße Wellen entſtehen, ſo können ſie nur die Geſtalt eines Kreisbogens von beſtimmter Länge annehmen; die durch Rütteln eines mit Flüſſigkeit gefüllten Gefäßes entſtandenen Wellen verengen ſich immer mehr und laufen in der Mitte deſſelben zuſammen. Unter allen dieſen Umſtänden ſchreitet jeder Punct einer Welle nach der Richtung der zu ihm gehörigen normalen Linie fort. Bei kreisförmigen Wellen fällt dieſe Richtung für jeden Punct mit dem Radius des Kreiſes zuſammen, der von dieſem Puncte aus gezogen iſt. Beim Fortſchreiten iſt der Vordertheil des Wellenberges und der Hintertheil des Wellenthales im Steigen, und der Hintertheil des Wellenberges und der Vordertheil des Wellenthales im Sinken begriffen. Im Steigen des Vordertheiles des Wellenberges liegt die bewegende Kraft, wodurch das weitere Fortſchreiten bewirkt wird.

363. Die Geſchwindigkeit der Wellen tropfbarer Flüſſigkeiten wächſt, nach dem Zeugniſſe der Erfahrung, mit ihrer Breite und Höhe, mithin auch mit der Größe und Geſchwindigkeit der ſie durch Stoß erzeugenden Maſſe, weil dieſe die Breite und Höhe derſelben beſtimmt. Eine Aenderung im ſpecifiſchen Gewichte der Flüſſigkeit übt auf die Geſchwindigkeit der Wellen keinen merklichen Einfluß aus, Verminderung der Tiefe der Flüſſigkeit vermindert die Geſchwindigkeit der Wellen, jedoch bei verſchiedenen Flüſſigkeiten und einerlei Abnahme der Tiefe nicht in demſelben Verhältniſſe. Hieraus erklärt es ſich, warum Wellen, die ſich ſtets mehr erweitern und dabei an Höhe abnehmen, auch immer langſamer werden; warum bei Wellen, die ſich ſtets verengen, das Gegentheil Statt findet; warum ſolche, bei denen weder das eine noch das andere der Fall iſt, und die immer an Höhe ab-, an Breite zunehmen, ſtets mit derſelben Geſchwindigkeit fortgehen. Letztere ſind daher beſonders geeignet zur Beſtimmung der Geſchwindigkeit der Wellenbewegung, und auch von den Brüdern Weber, denen wir die meiſte Aufklärung hierüber ſchuldig ſind, benützt worden.

364. Die genaueſte Kenntniß der Wellenbewegung tropfbarer Flüſſigkeiten erwirbt man ſich, wenn man ſich über die Bewegung der einzelnen Flüſſigkeitstheilchen, mit denen ſie verbunden iſt, auf dem Erfahrungswege unterrichtet. Zu dieſem Zwecke bedienten ſich die Brüder Weber, bei den Verſuchen, welche ſie über dieſen Gegenſtand

anſtellten, eines rechtwinkeligen, ſchmalen, aber tiefen und langen Gefäßes mit gläſernen Seitenwänden, das ſie Wellenrinne nannten, füllten es mit Flußwaſſer, das viele darin ſchwebende, feine, feſte Theile enthielt, erregten darin Wellen, und beobachteten dann die Bahnen der ſchwimmenden Körperchen, in der Vorausſetzung, daß man dadurch die Bewegung der durch dieſe Körper verdrängten Flüſſigkeit kennen lerne. Auf dieſe Weiſe fanden ſie: 1) Daß ſich die Waſſertheilchen an der Stelle, wo die Oberfläche der Flüſſigkeit die Geſtalt einer Welle annimmt, in Bahnen bewegen, die in einer verticalen Ebene liegen, und entweder in ſich zurückkehren oder nicht, je nachdem die zuſammengehörigen Wellenberge und Wellenthäler gleich geſtaltet ſind oder nicht. Im erſten Falle ſind die Bahnen elliptiſch. Iſt z. B. A (Fig. 150) ein ſolches Theilchen, A x eine horizontale Linie, nach welcher die Wellen fortſchreiten, ſo macht es im erſten Falle den Weg ACBDA, im zweiten den Weg A'C'B'D'. Während A den über A x liegenden Theil der Bahn beſchreibt, bildet es einen Theil des Wellenberges, während es den unterhalb derſelben liegenden zurücklegt, einen Theil des Wellenthales. Es iſt daher der verticale Durchmeſſer dieſer Bahn der Höhe der Welle gleich. 2) Die in der Richtung der Wellenfortpflanzung liegenden Theilchen beginnen ihre Bewegung ſucceſſiv; aber es ſtoßen nie zwei Theilchen, deren Bahnen ſich ſchneiden, zuſammen. In der Fortpflanzung dieſer Bewegung von Theilchen zu Theilchen liegt der Grund der Wellenfortpflanzung. 3) Während ein Theilchen der Flüſſigkeit eine Bahn einmal zurücklegt, ſchreitet die dadurch gebildete Welle um ihre ganze Breite vorwärts, es geht das Wellenthal oder der Wellenberg voraus, je nachdem die betreffenden Theilchen ihre Bewegung nach abwärts oder nach aufwärts beginnen. 4) Die Zeit, in welcher ein Theilchen ſeine ganze Bahn einmal zurücklegt, beſtimmt das Verhältniß der Höhe der Welle zu ihrer Breite. 5) Die ſchwingende Bewegung der Theilchen erſtreckt ſich bis zu einer ſehr großen Tiefe, und die in einer verticalen Linie liegenden Theilchen beginnen ihre Bewegung zugleich, aber in Bahnen, deren horizontaler und verticaler Durchmeſſer deſto kleiner iſt, je tiefer ein Theilchen liegt, auch übertrifft der horizontale Durchmeſſer den verticalen deſto mehr, je weiter ein Theilchen von der Oberfläche entfernt iſt. In ſehr großen Tiefen haben dieſe Theilchen nur eine horizontale, hin- und hergehende Bewegung. 6) Die näher an der Oberfläche liegenden Theilchen durchlaufen ihre Bahnen nicht ſo geſchwind, als die tiefer liegenden. 7) Jedes Theilchen, das durch eine momentan wirkende Kraft in eine ſchwingende Bewegung verſetzt wurde, wiederholt ſeine Umdrehung mehrmals, aber in immer kleineren Bahnen und in immer kürzerer Zeit, und ſo viele Umläufe es macht, ſo viele Wellen gehen an jenem Orte vorüber. Man ſieht hier beſonders deutlich, daß die ſchwingende Bewegung der Theilchen die eigentliche, wirkliche Bewegung beim Fortgange der Wellen, und die Welle nur die Geſtalt iſt, welche die Flüſſigkeit an ihrer Oberfläche, vermög der Bewegung ihrer kleinſten Theile, annimmt. Demnach ſchreitet ein und der-

ſelbe Wellenberg über dem Niveau einer Flüſſigkeit fort, ohne die Flüſſigkeit mit ſich fortzuführen, und die Wellenberge und Wellenthäler erhalten ſich hinter einander in ihrer Form, ohne daß ſie in einander übergehen.

Fig. 151 ſtellt mehrere kreisförmige Bahnen vor, welche die daſelbſt befindlichen Theile a b c d e f in der Richtung des beigeſetzten Pfeiles beſchreiben. Wir wollen uns jedes dieſer Theilchen zu einer Zeit denken, wo das erſte a bereits die ganze Bahn zurückgelegt hat, und ſich wieder in a befindet, das letzte f aber gerade ſeine Bewegung beginnt. Da iſt nun b nach b′, c nach c′, d nach d′, e nach e′ gekommen, und die Flüſſigkeit hat die Geſtalt der Curve a b′c′d′e′f annehmen müſſen.

365. Von der Bewegung der Flüſſigkeitstheilchen bei der Fortpflanzung einer Welle iſt diejenige verſchieden, welche den Theilchen bei der Entſtehung einer Welle zukommt. Das, was durch Erfahrung hierüber bekannt iſt, bezieht ſich auf den Fall, wo man aus einer flüſſigen Maſſe mittelſt einer Röhre plötzlich eine Säule von beſtimmter Länge herausgehoben und dadurch Wellen erzeugt hat. Es beſteht in Folgendem: Es erſtreckt ſich die Verſchiebung der Theilchen ſcheinbar gleichzeitig in große Tiefen, nimmt aber der Größe nach gegen unten ſchnell ab. Die Richtung der Theilchen iſt nach Verhältniß ihrer Lage und Entfernung vom Entſtehungsorte der Bewegung ſehr verſchieden. Die in einer verticalen Linie unter dieſer Stelle liegenden Theilchen bewegen ſich ſenkrecht aufwärts und dann ein wenig nach entgegengeſetzter Richtung; die ſeitwärts und tiefer liegenden haben eine ſchiefe Bewegung gegen den Urſprung der Bewegung hin; bei den der Oberfläche näheren werden die Bahnen gar gekrümmt, und zwar deſto mehr, je näher ſie der Oberfläche liegen.

366. Wenn zwei Wellen einander begegnen und ſich durchkreuzen (interferiren), ſo entſteht aus zwei Wellenbergen ein einziger, deſſen Höhe faſt der Summe beider gleich iſt. Daſſelbe erfolgt mit zwei ſich durchkreuzenden Wellenthälern. Hiervon überzeugt man ſich, wenn man in der Wellenrinne (364) an den entgegengeſetzten Enden zwei Wellen im Queckſilber erregt, und den bei ihrer Durchkreuzung entſtandenen Wellenberg oder das Wellenthal mittelſt einer beſtaubten Schiefertafel ſich (nach 360) abbilden läßt. Nach der Durchkreuzung trennen ſich die beiden Wellenberge und Wellenthäler wieder von einander ſo, daß es den Anſchein hat, als wären die Wellen ungeſtört durch einander gegangen. Trifft ein Wellenthal einer Welle mit einem eben ſo großen Wellenberge einer andern Welle zuſammen, ſo heben ſich beide an der Durchkreuzungsſtelle auf.

Eine recht artige Erſcheinung bringt die Interferenz der Wellen hervor, die man im Queckſilber an zwei einander nahen Stellen a und b mittelſt hineinfallender Tropfen erregt, und welche ſich an einigen Stellen beim Durchkreuzen aufheben, an anderen verſtärken. Sowohl die Stellen, wo das eine, als die, wo das andere Statt findet, liegen in hyperboliſch gekrümmten Linien. Fig. 152 ſtellt dieſe Erſcheinung vor. Man erkennt die Streifen, wo ſich die Wellen beim Durchkreuzen aufheben oder verſtärken, wenn man ſchief auf die Figur nach ihrer Länge hinſieht.

367. Betrachtet man während der Durchkreuzung der Wellen die Bewegung der einzelnen Flüſſigkeitstheilchen, ſo findet man, daß ſich die elliptiſchen Bahnen, welche ſie vor der Durchkreuzung beſchreiben, in geradlinige verwandeln, daß die gerade unter dem höchſten Puncte eines durch Durchkreuzung entſtandenen Wellenberges liegenden Theilchen eine verticale Richtung haben, zu deren beiden Seiten aber ſchief gegen dieſen Punct hin gerichtet ſeyen. Bei der Durchkreuzung zweier Wellenberge geht die Bewegung aufwärts, bei jener zweier Wellenthäler abwärts; dieſe geradlinige Bahn iſt immer größer als der verticale Durchmeſſer der vor der Durchkreuzung beſtehenden, elliptiſchen Bahnen. Bei der Durchkreuzung ſcheint eine kleine Verzögerung in der Fortpflanzung einzutreten, nach der Durchkreuzung bewegen ſich aber die Wellen mit derſelben Geſchwindigkeit fort, als hätten ſie ſich nicht durchkreuzet.

368. Wenn das Gleichgewicht der Theile eines Mediums geſtört wird, ſo entſteht eine nach allen Seiten ſich ausbreitende Welle. So bringt in einer Luftſäule die longitudinale Verſchiebung der an einer Stelle befindlichen Theilchen nicht bloß eine verdichtete Welle hervor, die ſich nach der Richtung der Verſchiebung, ſondern auch eine verdünnte, die ſich nach der entgegengeſetzten Richtung fortpflanzt. Ganz anders verhält ſich die Sache bei der Fortpflanzung der Wellenbewegung ſelbſt; da erzeugen die vorhandenen Störungen des Gleichgewichtes nur in dem Sinne des Fortſchreitens der Wellenbewegung eine Welle, nämlich die Fortſetzung der früheren, nicht aber auch eine Welle, die im entgegengeſetzten Sinne fortgeht. Es wirken nämlich die ſchwingenden Theilchen nach der Richtung der Fortpflanzung der Welle auf ruhende Theilchen, deren Ruhe ſie ſtören; nach der entgegengeſetzten Richtung aber auf bewegte Theilchen, die ſie zur Ruhe bringen. Letzteres geſchieht in Folge eines in dem Weſen der Wellenbewegung liegenden, durch die Natur des Mediums bedingten Größenverhältniſſes zwiſchen Wirkung und Gegenwirkung. Dort, wo ein Medium aufhört und ein anderes, mit erſterem in Bezug auf die Fortpflanzung der Wellenbewegung heterogenes anfängt, findet, wenn die Wellenbewegung bis dahin vorgedrungen iſt, dieſe Harmonie zwiſchen den die Bewegung erregenden und den in Bewegung geſetzten Theilchen nicht Statt, es erfolgt daher auf beide Medien gerade dieſelbe Wirkung, als wenn eine urſprüngliche Störung des Gleichgewichtes ihrer Theilchen obwaltete. Kommt alſo eine Welle an die Grenze zweier Medien, ſo bilden ſich im Allgemeinen zwei Wellen; eine, die in das erſte Medium zurückkehrt und die reflectirte Welle heißt, und eine zweite, die in dem neuen Medium (vorausgeſetzt, daß dieſes zur Wellenbewegung geeignet iſt) fortſchreitet, und die gebrochene Welle genannt wird. Es muß jedoch bemerkt werden, daß dieſe Wellen in Medien, deren Elaſticität nicht nach allen Richtungen dieſelbe iſt, aus früher angegebenen Gründen in mehrere getrennte Partien zerfallen können, ſo daß ſich dann mehrere reflectirte oder gebrochene Wellen bilden. Die Theorie weiſet auch Fälle nach, in welchen die reflectirte oder gebro-

chene Welle unterdrückt wird, welcher Gegenſtand jedoch erſt in der Lichtlehre, wo er practiſche Anwendung findet, zur Sprache kommen wird. Hier beſchränken wir uns auf die Angabe des einfachen Geſetzes, nach welchem die Reflexion einer ſphäriſchen Welle an der ebenen Grenze eines Mediums, deſſen Elaſticität nach allen Richtungen gleich iſt, vor ſich geht.

369. Es ſey A (Fig. 153) ein bewegter Punct, welcher eine ſolche Welle gegen die feſte Wand MN oder gegen die ebene Begrenzung irgend eines heterogenen Mediums ſendet; ferner ſeyen H, K zwei Puncte, in denen die Verbindungsfläche gleichzeitiger Phaſen, die wir hier kurz *Welle* nennen wollen, während ihres Fortſchreitens die Ebene in verſchiedenen Augenblicken trifft, welche Puncte ſich wie Mittelpuncte neuer Wellen verhalten; endlich ſeyen Ii, Ll die Lagen dieſer Wellen in einem und demſelben Augenblicke. Nimmt man den Punct A′ in der Verlängerung der auf MN ſenkrechten AD ſo, daß DA′ = DA wird, und zieht man von A′ durch H, K gerade Linien, bis ſelbe den genannten Wellen in I, L begegnen; ſo iſt A′I = A′L. Denn da die ſchwingende Bewegung die Wege AHI, AKL binnen derſelben Zeit zurücklegt, ſo iſt AH + HI = AK + KL. Aber die congruenten Dreiecke ADH, A′DH und ADK, A′DK geben AH = A′H, AK = A′K; daher iſt auch A′H + HI = A′K + KL, d. h. A′I = A′L. Beſchreibt man daher aus A′ mit dem Halbmeſſer A′I eine Kugelfläche, ſo berührt dieſe die beiden Wellen Ii, Ll, und aus gleichem Grunde auch alle anderen, in demſelben Augenblicke vorhandenen, von den verſchiedenen Puncten der Wand MN ausgeſendeten, d. i. reflectirten Wellen. Dieſe Wellen ſind hier als Elementarwellen zu betrachten, die ſich an den Stellen, wo je zwei einander nächſte derſelben zuſammenkommen, zu einer wirkſamen Welle verbinden (349), und letztere, welche offenbar nichts anderes ſeyn kann, als die Berührungskugel ſämmtlicher Elementarwellen, verhält ſich daher gerade ſo, als wäre ſie von A′ ausgegangen. Es erzeugt alſo eine ſphäriſche Welle durch Reflexion an einer Ebene eine zweite ſphäriſche Welle, deren Mittelpunct ſo liegt, daß die von ihm zu dem Mittelpuncte der directen Welle gehende gerade Linie auf der reflectirenden Ebene ſenkrecht ſteht und durch ſelbe halbirt wird.

370. Es kommt noch die Anordnung der Schwingungsrichtungen der Theilchen in der reflectirten Welle in Betrachtung. Stößt eine Luftwelle gegen eine feſte Wand, ſo erzeugt der verdichtete Theil der directen Welle den verdichteten der reflectirten, und der verdünnte Theil der erſteren den verdünnten der letzteren; denn die Theile der Wand weichen weder aus, noch folgen ſie dem ſchwingenden Theilchen nach. Gelangt eine Luftwelle, die in einer cylindriſchen Röhre fortſchreitet, an ein offenes Ende der Röhre, ſo tritt gleichfalls eine Reflexion ein, weil die Theilchen der freien Luft leichter ausweichen, als jene der in der Röhre befindlichen, wo keine Seitenbewegung Statt haben kann. Aber eben deßhalb verwandelt ſich bei der Reflexion der verdichtete Theil der Welle in einen verdünnten und umgekehrt. Bei der Reflexion

der Waſſerwellen an einer feſten Wand gibt der Wellenberg wieder einen Wellenberg; bei der Reflexion der transverſalen Ausbiegung einer Schnur an einem Befeſtigungspuncte derſelben erhält die Ausbiegung die entgegengeſetzte Lage.

Zur Erläuterung des Geſagten mag die genauere Darſtellung des Herganges der Reflexion einer Waſſerwelle a b c d e, Fig. 154, an einer feſten Wand A dienen. Es gehe der Berg, deſſen Spitze c iſt, dem Thale voran, und man betrachte den Verlauf der Reflexion in vier Zeitabſchnitten, deren jeder ein Viertel der Schwingungsdauer eines Theilchens in der Welle iſt. Nach Beendigung des erſten Zeitabſchnittes iſt c d an die Stelle von d e gekommen, und d e hat ſich in einen von A weggehenden Wellenberg verwandelt. Dadurch iſt c d auf das Doppelt an Höhe gewachſen, hat aber um eben ſo viel an Breite abgenommen, wie (β) zeigt. Nach einer doppelt ſo langen Zeit iſt c in e angelangt, ſo daß von der Welle nur a b c (γ) vorhanden wäre, wenn keine Reflexion erfolgte; aber es hat ſich zugleich der Wellenberg c d e (α) in einen von A B weggehenden c d a (γ) verwandelt; a b c und c d a heben einander auf, und es wird für einen Augenblick die Oberfläche der Flüſſigkeit ganz eben. Nach Verlauf eines dreifachen Zeittheilchens von der vorhin angegebenen Dauer iſt a b an die Stelle von b c gekommen, eben dahin fällt auch das zurückkehrende Stück b c ſo, daß dadurch das Wellenthal doppelt ſo tief und nur halb ſo breit wird, und das Ganze wie die Zeichnung in (δ) ausſieht. Endlich nach Verlauf von vier ſolchen Zeittheilchen bekommt die Welle die Lage a b c d e (ε), und die Richtung des beigeſetzten Pfeiles. Die Bahnen der Flüſſigkeitstheilchen ſelbſt erleiden bei der Reflexion dieſelbe Aenderung, wie bei der einfachen Durchkreuzung (367), es wird nämlich, wie dort, ihre verticale Bewegung auf Koſten der horizontalen verſtärkt, ſo daß die elliptiſchen Bahnen in gerade, verticale oder geneigte verwandelt werden.

371. Wenn in einem tropfbaren oder ausdehnſamen Medium eine Welle an eine Wand mit einer Oeffnung anſtößt, ſo erleidet ſie eine eigene Modification, welche **Beugung** genannt wird. Iſt z. B. A B (Fig. 155) eine Oeffnung in einem Brete, a der Mittelpunct einer kreisförmigen Waſſerwelle; ſo wird der Theil, welcher die Wand und nicht die Oeffnung trifft, ſich erweitern, als wäre die Welle gar nicht unterbrochen; daſſelbe thut auch der Theil A B, welcher durch die Oeffnung geht, nur mit der Modification, daß die Enden dieſer Wellenbögen nicht mehr in der Richtung fortſchreiten, die ihnen bei der freien Bewegung zukäme, ſondern ſich gegen die Wände zu Kreisbögen b c und d e **umbeugen**, deren Mittelpuncte in A und B liegen. Dieſe Bögen unterhalten ſtets die Verbindung zwiſchen dem Theile der Welle vor und hinter der Oeffnung.

Die durch Beugung entſtandenen, kreisförmigen Wellen b c und d e kreuzen ſich bei ihrer Erweiterung und verſtärken ſich an einigen Stellen, ſchwächen ſich an anderen oder heben ſich gar auf. Die auf einerlei Art entſtandenen Wellen liegen in einer Hyperbel, und man kann ſowohl dieſes, als den ganzen Verlauf der angeführten Beugungsphänomene deutlich ſehen, wenn man ein etwa ½ Zoll dickes, mit einer Oeffnung verſehenes Bret in Queckſilber taucht, und in dieſes regelmäßige Queckſilbertropfen fallen läßt. Die Erſcheinung hat völlige Aehnlichkeit mit Fig. 152. In die Reihe der Beugungsphänomene ge-

hören auch die Wirbel, welche ſich bilden, wenn Waſſer an ein Bret anſtößt, aber zu beiden Seiten deſſelben vorbeifließen kann. Dieſe Wirbel ſind auf beiden Seiten gegen einander gerichtet, und können ſich bei nicht zu großer Länge des Bretes in einander verſchlingen.

B. Meſſung der Tonhöhen.

372. Ein Hauptpunct, welcher bei der Unterſuchung der ſtehenden Schwingungen der Körper, die der Gegenſtand unſerer nächſten Beſchäftigung ſeyn werden, in Betrachtung kommt, iſt die Dauer einer Schwingung, oder was daſſelbe heißt, die Anzahl der binnen einer gegebenen Zeit gemachten Schwingungen. Großen Vortheil gewährt bei dieſem Geſchäfte der Umſtand, daß unſer Gehörorgan eine Reihe gleichzeitiger, mit einer gewiſſen Schnelligkeit auf einander folgenden Stöße, welche in Folge der ſchwingenden Bewegung eines Körpers und der dadurch erregten Wellenbewegung der Luft bis zu dieſem Organe fortgepflanzt worden ſind, als Ton empfindet, deſſen Höhe mit der Anzahl der binnen einer beſtimmten Zeit vollbrachten Stöße in einem innigen Zuſammenhange ſteht, ſo zwar, daß ein Ton um ſo höher erſcheint, je ſchneller die ihn erzeugenden Schwingungen vor ſich gehen. Von der Richtigkeit dieſer Thatſache überzeugt man ſich leicht, wenn man ein dünnes Blättchen dem Rande eines ſich drehenden gezähnten Randes nähert, oder wenn man einen durch eine Röhre getriebenen Luftſtrom raſch hinter einander in gleichen Abſätzen unterbricht und wieder frei läßt (Syrene), und auch auf viele andere Arten durch Verſuche mit Saiten (Monochord), Stäben u. dgl. Durch die ſo eben genannten Hülfsmittel wird man ſogar in den Stand geſetzt, die Anzahl der gemachten Stöße genau anzugeben. Zur Wahrnehmung eines Tones gehören wenigſtens 16 Stöße oder Schwingungen in einer Secunde, wobei wir einen Hin- und Hergang des ſchwingenden Körpers, oder eine Verdichtung und Verdünnung der Luft, zuſammen für Eine Schwingung rechnen. Folgen die Stöße zu ſchnell auf einander, wie dieſes bei 16000 und mehr Schwingungen in einer Secunde der Fall iſt, ſo vernimmt das Gehör keinen Ton, ſondern nur eine Art Ziſchen; ſelbſt die Ergebniſſe einer weit geringeren Anzahl Schwingungen können nicht mehr mit Sicherheit im Gedächtniſſe feſtgehalten und mit ähnlichen Empfindungen in Abſicht auf Höhe und Tiefe verglichen werden.

Die Syrene iſt in Fig. 156 abgebildet. Sie beſteht aus einer Röhre, die zu einem cylindriſchen Behälter führt, der mit einer kreisförmigen Platte geſchloſſen iſt, in welcher in einem Kreiſe herum mehrere Löcher angebracht ſind ſo daß die Luft, die man in die Röhre bläſt, durch dieſelben entweichen kann. Ueber dieſer Platte findet ſich in geringem Abſtande eine andere parallele, um eine auf den Ebenen beider ſenkrechte Axe äußerſt leicht drehbare, ebenfalls mit mehreren, gleichweit von einander abſtehenden, gegen die Halbmeſſer der Platte ſenkrecht, gegen ihre Ebene aber unter dem Winkel von 45° gebohrten Löchern, welche auf die der erſteren Platte paſſen. Dieſe Platte wird durch den aus den Oeffnungen der unteren Platte hervortretenden Luftſtrom, der ſchiefen Stellung ihrer Löcher wegen, in Bewegung geſetzt.

und läßt ſich durch Regulirung des Luftſtromes in beliebiger conſtanter Geſchwindigkeit der Drehung erhalten. Während einer Umdrehung fällt jede ihrer Oeffnungen einmal auf jede Oeffnung der Spalte der Bodenplatte ſo, daß die Luft während einer ſolchen Umdrehung ſo oft aus der Röhre entweichen kann und wieder zurückgehalten wird, als die Löcher beider Platten zuſammenfallen, mithin eben ſo viele Stöße entſtehen. Um die Anzahl der Umläufe der Platte und, durch Multiplication derſelben mit der Anzahl der Löcher, auch die Anzahl der Stöße zu beſtimmen, kann an die Are der beweglichen Scheibe ein mit Zifferblättern und Zeigern verſehenes Räderwerk angeſchoben werden, in welches dieſe Are eingreift.

Verkürzt man eine ſchwingende Saite, einen Stab, von bedeutender Länge allmälig, ſo bemerkt man deutlich, daß anfänglich, wo man die Schwingungen einzeln bequem ſehen und zählen kann, noch kein Ton gehört wird, ſpäter aber, bei raſcheren Schwingungen ein tiefer Ton ſich einſtellt, deſſen Höhe mit der durch fortgeſetzte Verkürzung geſteigerten Schnelligkeit der Schwingungen zunimmt. Zur Vergleichung der gleichzeitigen Anzahl der Schwingungen bei zwei Tönen iſt das Monochord äußerſt bequem, eine Saite auf einem Reſonanzboden mit einer Scale, um die Länge des jedesmal ſchwingenden Stückes der Saite genau zu beſtimmen. Bei ungeänderter Spannung der Saite iſt die Anzahl der Schwingungen binnen einer feſtgeſetzten Zeit der Länge des ſchwingenden Stückes verkehrt proportionirt.

373. Das natürliche Maß der Höhe eines Tones iſt die demſelben entſprechende Anzahl der Schwingungen, welche während einer feſtgeſetzten Zeit, wozu wir die Secunde wählen, vor ſich gehen. Wird alſo ein Ton durch n Schwingungen in einer Secunde gebildet, ſo iſt die Tonhöhe $= n$, und zwar iſt dieß die abſolute Tonhöhe. Vergleicht man aber die Höhen zweier Töne mit einander, indem man das Verhältniß ihrer abſoluten Werthe angibt, ſo hat man es mit der relativen Höhe des einen in Bezug auf den andern zu thun. Der Ton, auf den man einen andern bezieht, heißt der Grundton. Wir werden hier ſtets vorausſetzen, daß er der tiefere der in Vergleichung gebrachten Töne ſey. Iſt N die abſolute Höhe des Grundtones, n jene des mit ihm verglichenen, ſo wird der Quotient $\frac{n}{N}$ als Ausdruck der relativen Höhe des letztern angeſehen, ſo daß dem Grundtone der Ausdruck $\frac{N}{N} = 1$ entſpricht.

374. Das menſchliche Gehör kann zwar ſehr kleine Unterſchiede in den Tonhöhen wahrnehmen, aber eine gewiſſe Folge von Tönen gewährt ihm eine beſondere Befriedigung. In einer ſolchen Folge, Scale oder Tonleiter genannt, kommt man, von dem Grundtone aufſteigend, nach ſechs Zwiſchentönen auf einen Ton, der mit dem Grundtone ſo genau zuſammenſtimmt, daß man, wenn beide zuſammen erklingen, nur einen Ton zu hören glaubt. Darum nimmt man bei dem Fortſchreiten zu noch höheren Tönen an, die Tonreihe beginne mit dieſem Tone wieder von Neuem. Es gibt aber für jeden Grundton zwei Scalen, deren eine die harte, die andere aber die weiche genannt wird. Die Töne jeder heißen nach der Ordnung: Grundton

(tonica), Secund, Terz, Quart, Quint, Sext, Septime, Octav. Die harte und weiche Tonleiter unterſcheiden ſich dadurch, daß die Terz bei letzterer niedriger iſt, weßhalb ſie da auch kleine Terz heißt, während der harten Tonleiter die große Terz zugehört. Nennt man den Grundton C, ſo heißt die Secund D, die Terz in der harten Scale E, in der weichen Es, die Quart F, die Quint G, die Sext A, die Septime H, und die Octav wieder c. Von c an aufwärts folgen wieder d, e, f, g ꝛc. Mit dem Grundtone läßt ſich die Terz oder die Quint ſehr angenehm hören, und dieſe drei Töne zuſammen geben einen vollendeten Dreiklang; die Quart und Sext klingen mit dem Grundtone noch erträglich, aber die Secunde und Septime machen mit dem Grundtone verbunden einen widrigen Eindruck. Dieſe zwei letzteren Töne heißen daher diſſonirende, während erſtere conſonirende genannt werden.

375. Die relativen Tonwerthe der Glieder der Scale ſind folgende:

$$\begin{array}{ccccccccc} C, & D, & (Es) & E, & F, & G, & A, & H, & c. \\ 1, & \frac{9}{8}, & (\frac{6}{5}) & \frac{5}{4}, & \frac{4}{3}, & \frac{3}{2}, & \frac{5}{3}, & \frac{15}{8}, & 2. \end{array}$$

Wie man ſieht, ſind die Intervalle je zweier unmittelbar auf einander folgenden Töne nicht gleich groß, denn es zeigt ſich $\frac{9}{8} : 1 = \frac{9}{8}$; $\frac{6}{5} : \frac{9}{8} = \frac{16}{15}$; $\frac{5}{4} : \frac{6}{5} = \frac{25}{24}$; $\frac{5}{4} : \frac{9}{8} = \frac{10}{9}$; $\frac{4}{3} : \frac{5}{4} = \frac{16}{15}$; $\frac{4}{3} : \frac{6}{5} = \frac{10}{9}$; $\frac{3}{2} : \frac{4}{3} = \frac{9}{8}$; $\frac{5}{3} : \frac{3}{2} = \frac{10}{9}$; $\frac{15}{8} : \frac{5}{3} = \frac{9}{8}$; $2 : \frac{15}{8} = \frac{16}{15}$. Das Intervall $\frac{9}{8}$, als das größte, heißt das eines großen ganzen Tones, das nächſt folgende $\frac{10}{9}$ das eines kleinen ganzen Tones, das zunächſt kleinere Intervall $\frac{16}{15}$ das eines großen halben Tones, und das kleinſte $\frac{25}{24}$ das eines kleinen halben Tones. Das zwiſchen einem großen und kleinen ganzen Tone beſtehende Intervall nämlich $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$ wird Comma genannt. Es ſind alſo die Intervalle C D, F G, A H große, D E, Es F, G A kleine ganze Töne; D Es, E F, H c ſind große halbe Töne und Es E iſt ein kleiner halber Ton.

Von einem Tone auf die Octave oder auf die Quinte ꝛc. übergehen, heißt nach obigen Daten ihn mit 2 oder $^3/_2$ ꝛc. multipliciren. Durch Diviſion mit dieſen Zahlen wird der Ton um ein entſprechendes Intervall erniedriget. Iſt ein Ton gegeben, deſſen Höhe bezüglich des Grundtones durch eine Zahl ausgedrückt wird, die größer als 2 iſt, ohne ſelbſt eine Potenz von 2 zu ſeyn (in letzterem Falle wäre der Ton eine der höheren Octaven des Grundtones), ſo halbire man ihn fortwährend, bis der Quotient kleiner als 2, aber nicht kleiner als 1 wird. Darnach erkennt man leicht die Beſchaffenheit des Tones. So erhält man z. B. aus dem Tone 60 durch Diviſion mit $2^5 = 32$ den Quotienten $^{60}/_{32} = {^{15}/_8}$, und ſieht hieraus, daß der Ton die Septime in der fünften Octave über dem Grundtone iſt.

376. Daß die vorhin angegebene Tonleiter nicht alle Töne umfaßt, welche zwiſchen dem Grundtone C und ſeiner Octave c möglich ſind, ſpringt in die Augen; es reichen aber dieſe Töne auch nicht für die practiſche Muſik hin, wie man leicht aus folgender Betrachtung entnehmen kann. Will man nicht C, ſondern einen andern Ton, z. B. G, zum Grundtone annehmen, und doch auf eine Art fortſchrei-

ten, die von den bezeichneten Intervallen, wenigſtens nicht ſehr ſtark, abweicht; ſo muß man zwiſchen F und G einen neuen Ton einſchalten; denn es wird bei dieſer Annahme E die Sext, F die Septime und g die Octave; E und F ſind aber nach der angegebenen Tonleiter nur um einen halben Ton verſchieden, und ſollen es um einen ganzen ſeyn, während F und g um einen ganzen Ton von einander abſtehen und es nur um einen halben ſollen. Beiden Fehlern hilft man ab, wenn man F um einen halben Ton erhöht, das iſt, ſeinen Werth mit $\frac{25}{24}$ multiplicirt. Dieſelbe Erhöhung muß man mit mehreren andern Tönen vornehmen, wenn man D, A, E, H ꝛc. als Grundton annimmt, während man Töne um einen halben Ton vertiefen, d. i. ihren Werth mit $\frac{24}{25}$ multipliciren muß, wenn man einen Ton zum Grundtone annimmt, der in der Reihe der tieferen Quinten von C liegt, wie z. B. F. Man bezeichnet die Erhöhung eines Tones dadurch, daß man zu ſeinem Namen is, und die Vertiefung dadurch, daß man zu demſelben es ſetzt. So bezeichnet cis, dis, fis das erhöhte c, d, f, und es, hes, ges das vertiefte e, h, g. Durch Einſchaltung dieſer Töne in die übrige Tonleiter hat man in jeder Octave 22 Töne erhalten, deren Werthe und Namen folgendes Verzeichniß gibt.

Name.	Werth.		Name.	Werth.	
c	1	1,00000	ges	$\frac{36}{25}$	1,44000
cis	$\frac{25}{24}$	1,04166	g	$\frac{3}{2}$	1,50000
des	$\frac{27}{25}$	1,08000	gis	$\frac{25}{16}$	1,56250
d	$\frac{9}{8}$	1,12500	aes	$\frac{8}{5}$	1,60000
dis	$\frac{75}{64}$	1,17187	a	$\frac{5}{3}$	1,66667
es	$\frac{6}{5}$	1,20000	ais	$\frac{125}{72}$	1,73611
e	$\frac{5}{4}$	1,25000	hes	$\frac{9}{5}$	1,80000
eis	$\frac{125}{96}$	1,30208	h	$\frac{15}{8}$	1,87500
fes	$\frac{32}{25}$	1,28000	his	$\frac{125}{64}$	1,95313
f	$\frac{4}{3}$	1,33333	ces	$\frac{48}{25}$	1,92000
fis	$\frac{25}{18}$	1,38889	c	2	2,00000

Weil zwei Töne, wovon einer durch Erhöhung eines Tones, der andere durch Vertiefung des nächſt höheren entſtanden iſt, wie z. B. cis und des, fis und ges, ſehr wenig von einander abweichen; ſo gibt man ihnen in der Ausübung gewöhnlich nur einen Werth, und erhält dadurch in der ganzen Octave 12 Töne. Ihre Aufeinanderfolge macht die chromatiſche Tonleiter aus.

377. Wenn man auf irgend einem muſikaliſchen Inſtrumente, das mehrere Octaven umfaßt, nach reinen Verhältniſſen von einem Tone zum andern fortſchreitet, und auch die kleinſten Unterſchiede, z. B. die zwiſchen cis und des nicht vernachläßiget; ſo entfernt man ſich dabei doch immer mehr von dem reinen Verhältniſſe zum Grundtone. Wollte man z. B. nach reinen Quinten von C aus aufwärts

gehen, ſo wäre der Werth der erſten reinen Quinte $G = \frac{3}{2}$, jener der zweiten $d = \frac{9}{4}$, der dritten $a = \frac{27}{8}$. Da a zugleich die Octave von der Sext A iſt, ſo müßte ſich der letztere Ton durch $\frac{27}{16}$ ausdrücken laſſen, und es müßte dieſe Zahl mit $\frac{5}{3}$ übereinkommen, wenn bei einem reinen Quintenverhältniſſe auch das gegen den Grundton rein ausfallen ſoll. Es iſt aber $\frac{27}{16} : \frac{5}{3} = \frac{81}{80}$, und man hat ſich daher um dieſen Bruch, d. h. um ein Comma, vom reinen Verhältniſſe gegen C entfernt. Beim ferneren Fortſchreiten nach reinen Quinten häuft ſich dieſer Fehler noch mehr an. Iſt man durch 12 Quinten aufgeſtiegen, ſo kommt man auf die ſiebente Octave des Grundtones. Da die zwölfte Quinte den Werth $(\frac{3}{2})^{12}$, die ſiebente Octave den Werth 2^7 hat, ſo beträgt der ganze Fehler $(\frac{3}{2})^{12} - 2^7$. Weil nach dem Vorhergehenden nicht alle Octaven und Quinten zugleich rein ſeyn können, bei erſteren aber die geringſte Abweichung vom reinen Verhältniſſe dem Ohre unerträglich wäre, ſo vertheilt man obigen Fehler auf die Quinten, d. i. man temperirt ſie, und zwar entweder alle gleich, oder nur diejenigen, welche ſeltener vorkommen. Jenes geſchieht bei der gleichſchwebenden, dieſes bei der ungleichſchwebenden Temperatur. Das Temperiren wird daher durch die Ungleichheit der Intervalle nothwendig gemacht, und es iſt für jedes muſikaliſche Inſtrument, es mag eine beſtimmte oder unendliche Anzahl von Tönen haben, unerläßlich.

Den Werth n einer Quinte bei der gleichſchwebenden Temperatur findet man aus $n^{12} = 2^7$, und man bekommt $n = 1{,}49831$, welches vom wahren Werthe um $3/_2 - 1{,}49831 = 0{,}00169$ verſchieden iſt.

378. Da man durch das Gehör über die Uebereinſtimmung oder Nichtübereinſtimmung zweier Töne mit hinreichender Genauigkeit zu entſcheiden vermag, ſo lehrt die Vergleichung einer Reihe von Tönen mit denen eines gut getheilten Monochords die relativen Werthe dieſer Töne kennen. Iſt man nun im Beſitze der Kenntniß der abſoluten Höhe eines derſelben, ſo findet man daraus auch die abſolute Höhe jedes andern, indem man die abſolute Höhe des erſteren mit der relativen Höhe des letzteren multiplicirt. Die unmittelbare Beſtimmung der abſoluten Höhe eines Tones erfordert große Vorſicht und Aufmerkſamkeit; ſie kann mittelſt der Syrene, oder auch nach einer ſpäter zu gebenden Formel, mittelſt eines dazu vorgerichteten Monochords, am beſten mittelſt des von Fiſcher angegebenen (Zeitſchr. 1. 184) bewerkſtelliget werden.

Man pflegt den Ton, welchen eine beiderſeits offene Orgelpfeife von 8 Pariſer Fuß Länge gibt, nämlich das ſogenannte große C, mit C zu bezeichnen. Die unter C ſtehenden Töne führen die Zeichen $\underline{H}$, $\underline{A}$, $\underline{G}$ ꝛc. $\underline{C}$, $\underline{\underline{H}}$, $\underline{\underline{A}}$ ꝛc. $\underline{\underline{\underline{C}}}$; hievon heißt $\underline{C}$ das Contra C, $\underline{\underline{C}}$ das tiefe C. Die Octave von C wird durch c, die höheren Octaven werden durch $\overline{c}$, $\overline{\overline{c}}$ ꝛc. bezeichnet; dieſe Töne heißen kleines C, eingeſtrichenes, zweigeſtrichenes C u. ſ. f. Eine gleiche Bezeichnung und Benennung legt man auch den innerhalb der Octave darauf folgenden Tönen D, E, F ꝛc. bei. Das tiefe C iſt der tiefſte Ton, von dem man in der Muſik Gebrauch macht. Er heißt auch das 32füßige C, weil ihn

eine beiderſeits offene Orgelpfeife von 32 Par. F. Länge gibt. Das tiefſte C eines Klaviers neueren Umfanges iſt das Contra C; der tiefſte Ton des Violoncells iſt das große C. Die Werthe der vorgenannten Töne ſind folgende: $\underline{\underline{C}} = 16$, $\underline{C} = 32$, $C = 64$, $c = 128$, $\bar{c} = 256$, $\bar{\bar{c}} = 512$ u. ſ. w. Das höchſte C am Klaviere (das viermal geſtrichene C) hat den Werth 2048, mithin das darauf folgende G, der Ton der letzten Klaviertaſte, den Werth $2048 \times {}^3/_2 = 3072$. Dieſem nach entſprechen dem $\bar{a}$, welches der Ton iſt, den die a Saite einer Violine gibt, 426,7 Schwingungen in der Secunde. Nach Fiſcher's ſorgfältigen Verſuchen (Abhandl. der Berlin. Akademie der Wiſſenſch. Berlin 1825) beträgt die Anzahl der Schwingungen für $\bar{a}$ nach der Stimmung der großen Oper zu Paris 431, nach dem Theater Feydeau 428, und nach dem italieniſchen Theater in Paris 424 Schwingungen; nach Scheibler's ſehr genauen Meſſungen macht der Ton $\bar{a}$ in einer Secunde 443,56 Schwingungen (Pogg. Ann. 32. 333). Der große Unterſchied zwiſchen dem berechneten und nach Verſuchen gefundenen Werthe liegt in der etwas willkürlichen Annahme des Grundtones. Der Umfang der für uns wahrnehmbaren Töne beträgt kaum 9 Octaven. Dem tiefſten Männertone entſprechen, wenn man dafür F annimmt, 86, dem höchſten ($\bar{a}$ als Bruſtton) 427 Schwingungen in der Secunde, dem tiefſten Tone eines Frauenzimmers hingegen (g) 192, dem höchſten ($\bar{\bar{\bar{e}}}$) 1280 Oſcillationen, welche beiden Extreme ſich jedoch in der Regel nicht in einem Individuum vereinigt vorfinden. Die längſte Tonwelle in der Luft bei 16 Schwingungen in einer Secunde hat, wenn die Geſchwindigkeit des Schalles = 1024 P. Fuß angenommen wird, die Länge von $1024 : 16 = 64$ P. Fuß, die kürzeſte beträgt 9 Linien.

C. Stehende Schwingungen der Körper.

379. Wenn ein der Wellenbewegung fähiger Körper an einer Stelle einen Stoß, Schlag ꝛc. erhält, ſo entſteht daſelbſt eine Welle, die bis zu den Grenzen dieſes Körpers fortſchreitet, an dieſen aber reflectirt wird. Wiederholt ſich der Stoß ſchnell hinter einander, ſo begegnen die reflectirten Wellen den directen, beide durchkreuzen ſich und können unter den gehörigen Umſtänden eine ſtehende Oſcillation erzeugen. Hat nämlich der Körper eine regelmäßige Geſtalt; erfolgen die Stöße in gleichmäßigen Intervallen; ſtehen die Dimenſionen der erregten Wellen zu den Abmeſſungen des Körpers in einem ſchicklichen Verhältniſſe; ſo findet eine conſtante regelmäßige Interferenz der directen und reflectirten Wellen Statt; gewiſſe Puncte bleiben, weil ſich da die Bewegung aufhebt, in Ruhe, und bilden Flächen, durch welche der Körper in Partien getheilt wird, die unter einander und zum Ganzen ein ſolches Ebenmaß haben, daß je zwei an einander grenzende Partien gleiche und entgegengeſetzte Schwingungen vollbringen. Die Flächen, worin die ruhenden Puncte liegen, durchſchneiden die Begrenzung des Körpers in Linien, welche auf der Oberfläche des Körpers durch geeignete Mittel als ruhende Linien wahrgenommen werden können; man nennt ſie Knotenlinien. Ein zu ſolcher Schwingungsweiſe tauglicher Körper läßt ſich ſtets auf mehrere Arten in ſchwingende Partien zerlegen, die ſich an den durch die Knotenlinien bezeichneten Stellen, indem ſie während der Bewegung ſtets

gleiche und entgegengeſetzte Kräfte gegen einander ausüben, gleichſam das Gleichgewicht halten; es können ſogar mehrere dieſer Abtheilungsarten zu gleicher Zeit vorhanden ſeyn, und es ſind verſchiedene Anordnungen der Knotenlinien nicht nothwendig mit einer verſchiedenen Schwingungsdauer verbunden. Aus allen Arten fortſchreitender Wellenbewegung können ſtehende Schwingungen entſpringen; es gibt daher ſolche Schwingungen in begrenzter Luft, in tropfbaren Körpern, an Saiten, Stäben, geſpannten Membranen, Platten, Glocken u. dgl., und dieſelben können theils longitudinal, theils transverſal, an runden Körpern auch drehend erfolgen. Das Selbſttönen der Körper wird durch ſtehende Oſcillationen bewirkt; die bloße Fortpflanzung des Schalles beruht auf fortſchreitenden Schwingungen.

Körper, welche nur geringe Elaſticität zeigen, ſind zu ſtehenden Oſcillationen nicht tauglich; daher tönt eine Bleimaſſe nicht, ſie mag wie immer geſtaltet ſeyn. Iſt ein Körper unregelmäßig geformt, ſo treffen an jedem Puncte im Innern deſſelben unzählige Wellen von allen möglichen Richtungen und von allen Graden der Verdichtung und Verdünnung zuſammen und heben ſich ſchnell auf. Darum tönt ein Glasklumpen ungeachtet ſeiner Elaſticität nicht, wohl aber eine Glasplatte. Wenn mehrere Stöße hinter einander angebracht werden, ſo iſt es genug, wenn nur einige derſelben in regelmäßigem Tempo auf einander folgen, weil die ſchon gebildeten ſtehenden Wellen bald die übrigen Stöße gehörig reguliren, wie dieſes beim Streichen geſpannter Saiten, elaſtiſcher Platten ꝛc. mit einem Violinbogen der Fall iſt.

380. Die Eigenthümlichkeiten der ſtehenden Schwingung ſind: 1) Es findet dabei kein wahrnehmbares Fortſchreiten der Wellen Statt, ſondern es verwandelt ſich nur die Verdichtung in eine Verdünnung, die Excurſion nach einer Seite in die Excurſion nach der entgegengeſetzten Seite, und umgekehrt. 2) Die ſchwingenden Theile haben bei der größten Abweichung von der natürlichen Lage die kleinſte Geſchwindigkeit (= 0), bei dem Eintreten in die natürliche Lage aber die größte Geſchwindigkeit. Da ſie deßwegen, der Trägheit gemäß, über die natürliche Lage hinausgehen, ſo folgt daraus 3) daß eine ſtehende Schwingung fortdauert, nämlich ſich öfters wiederholt, wenn auch die erregende Urſache aufgehört hat zu wirken. Bei den fortſchreitenden Wellen findet gerade das Gegentheil Statt; die ſchwingenden Theile haben bei der größten Abweichung von der Gleichgewichtslage auch die größte Geſchwindigkeit, und es iſt die Geſchwindigkeit dieſer Abweichung proportionirt; bei dem Eintreten in die natürliche Lage iſt die Geſchwindigkeit der Theilchen auf Null herabgeſunken und kein Grund zu weiterer Bewegung vorhanden, wenn nicht von Seite einer äußeren Urſache durch wiederholte Störung des Gleichgewichtes eine neue Veranlaſſung dazu geben wird.

Zur Erläuterung des Geſagten, insbeſondere zur Aufhellung des Vorganges bei der Bildung ſtehender Schwingungen aus fortſchreitenden Wellen, werden nachfolgende Bemerkungen behülflich ſeyn: Eine angeſchlagene Saite, eine Glocke ꝛc. klingt lange nach dem Schlage fort; nur wenn ſie gedämpft wird, hört die ſtehende Oſcillation gleich auf; eine lange geſpannte Schnur, an der man durch Seitwärtsbewegen

eines Stückes an dem einen Ende eine transverſale Welle erregt hat, kommt augenblicklich zur Ruhe, ſobald die Welle ihren Ort verlaſſen hat, und bewegt ſich an dieſer Stelle erſt wieder, nachdem die an dem andern Ende reflectirte Welle zurückgekommen iſt. Man kann hiebei die Welle viele Male hin und her laufen ſehen. Wiederholt man aber die Einwirkung, und ſendet dadurch den abgehenden immer neue Wellen nach; ſo bildet ſich, wenn die halbe Wellenlänge, nämlich die Ausbeugung nach der einen oder nach der andern Seite für ſich allein genommen, ein aliquoter Theil der Länge der Schnur iſt, alsbald eine ſtehende Schwingung; man ſieht kein Fortlaufen der Wellen mehr, ſondern bloß ein Hin- und Herwogen einzelner gleichen Theile der Schnur, wobei die Bewegungen je zweier an einandergrenzenden Stücke entgegengeſetzt ſind, und die Theilungspuncte in Folge der gleichen und entgegengeſetzten Züge, die ſie fortwährend erfahren, in Ruhe bleiben, alſo Schwingungsknoten darſtellen.

Die Bildung ſtehender Schwingungen läßt ſich ſehr deutlich an Wellen tropfbarer Flüſſigkeiten wahrnehmen, wenn man nämlich in einem regelmäßigen Gefäße in gewiſſen Zeitabſchnitten gleich breite Wellen erregt, ſo daß die directen Wellenthäler den reflectirten und eben ſo die directen Wellenberge den zurückgeworfenen mit faſt gleicher Kraft begegnen, ſich an ſymmetriſch angeordneten Stellen mehrfach durchkreuzen, und auf dieſe Weiſe gleichweit von einander abſtehende Wellenthäler und Wellenberge bilden, die wegen der entgegengeſetzten Richtung der ſich begegnenden Wellen nicht mehr von einem Orte zum andern fortrücken, ſondern von denen ſich immer nur ein Berg in ein Thal verwandelt und umgekehrt. Die Grenzen zwiſchen beiden bleiben daher in Ruhe, erſcheinen ſomit als Schwingungsknoten und bilden, da ſie fortwährend an dieſelbe Stelle fallen, eine regelmäßige ſtehende Erſcheinung. Die Länge (oder wie ſie in dieſem Falle auch genannt zu werden pflegt, die Breite) einer ſtehenden Welle wird durch den Abſtand zweier nächſten Schwingungsknoten beſtimmt, und iſt nur halb ſo groß als jene der fortſchreitenden, aus der ſie entſtanden iſt. Ein ſchönes Beiſpiel einer ſolchen ſtehenden Schwingung kann man am Queckſilber ſehen, das ſich in einem regelmäßigen Gefäße befindet, in deſſen Mitte man tactmäßig einen Körper ſenkrecht eintaucht und wieder herauszieht; insbeſondere wenn man in ein cylindriſches Gefäß reines Queckſilber gibt, und durch einen feinen Trichter Queckſilber darauf fließen läßt; man kann da deutlich ſehen, wie ſich in der Nähe des entgegengeſetzten Randes, durch Zuſammentreffen reflectirter Wellen, gleichſam ein zweiter Wellenmittelpunct bildet. Mittelſt der Wellenrinne kann man den Vorgang bei der Erzeugung ſtehender Oſcillationen im Detail verfolgen. Um hievon eine deutliche Vorſtellung zu bekommen, denke man ſich AB (Fig. 157) als das Ende des die Wellenrinne bildenden ſchmalen, mit Waſſer gefüllten Kaſtens, und zugleich als den Durchſchnitt der Oberfläche des ruhenden Waſſers mit einer verticalen, der Längenrichtung des Kaſtens parallelen Ebene. Es werde eine Welle erregt, die gegen B fortſchreitet und die Länge AB hat. So wie ſie in B anlangt, folge ihr eine zweite eben ſo beſchaffene, dieſer auf gleiche Weiſe eine dritte u. ſ. w. Es ſey t die Zeit, in der eine Welle den Weg zurücklegt, welcher dem vierten Theile ihrer Länge gleichkommt. Iſt vom Augenblicke des Eintreffens des vorderſten Punctes der Welle in B die Zeit t verfloſſen, ſo hat der Wellenberg die halbe Länge durch ſein Fortrücken eingebüßt, aber durch Reflexion eine doppelte Höhe erlangt, ſo, daß nun dieſer halbe Wellenberg, das ganze Wellenthal und von der zweiten Welle wieder ein halber Wellenberg vorhanden iſt (α). Nach Verlauf der Zeit 2t füllt der zurückkehrende,

reflectirte Wellenberg das Wellenthal A b c ganz aus, und bildet an ſeiner Stelle eine ebene Fläche, es iſt aber von der zweiten Welle der ganze Berg vorhanden (β). Nach 3 t gibt der zurückkehrende, reflectirte Wellenberg der erſten Welle mit dem directen der zweiten ſeinen Berg von doppelter Höhe, das Wellenthal der erſten Welle hat die halbe Länge eingebüßt und durch das reflectirte halbe Wellenthal doppelte Tiefe gewonnen; auf der entgegengeſetzten Seite befindet ſich das halbe Wellenthal der zweiten Welle (γ). Nach 4 t hat ſich der directe Wellenberg der zweiten Welle über das reflectirte Wellenthal der erſten Welle, und der reflectirte Wellenberg der erſten Welle über das directe Wellenthal der zweiten Welle gelagert. Da jedes Paar ſich aufhebt, ſo beſteht in dieſem Augenblicke eine ebene Oberfläche der Flüſſigkeit (δ). Nach 5 t hat der Wellenberg der zweiten Welle die halbe Länge verloren und durch Reflexion eine doppelte Höhe erreicht, das Wellenthal dieſer Welle gibt zunächſt an jenem mit dem reflectirten Wellenthale der erſten Welle ein doppelt ſo tiefes Wellenthal, und an dieſes ſchließt ſich der halbe Wellenberg der dritten Welle an, der durch den halben reflectirten Berg der erſten Welle eine doppelte Höhe erlangt, ſo daß nun die vorhandenen Wellen ganz ſymmetriſch angeordnet ſind (ε). Nach 6 t ſind die beiden Wellenthäler, welche vorhin das große Thal ausmachten, durch einander durchgegangen, und nehmen neben einander die ganze Länge des Gefäßes ein, zugleich fällt in eines dieſer Thäler der reflectirte Wellenberg der zweiten Welle, ins andere der directe Wellenberg der dritten Welle. Dadurch wird die Oberfläche der Flüſſigkeit wieder eben, wie in δ (ζ). Nach 7 t hat das halbe Wellenthal der zweiten Welle durch Reflexion eine doppelte Tiefe erlangt und die halbe Länge verloren, daran ſchließt ſich der Wellenberg der dritten Welle durch den Wellenberg der reflectirten zweiten zur doppelten Höhe gebracht, und endlich das halbe Thal der erſten reflectirten Welle mit dem halben Thale der directen dritten an, ſo daß nun wieder die Wellenform ganz ſymmetriſch iſt und eine der ε entgegengeſetzte Lage hat (η). Von nun an findet man, daß ſich immer nur die drei Formen ε, ζ, η wiederholen, daß immer ein Wellenberg mit einem Wellenthale wechſelt, ohne fortzuſchreiten, daß jeder Berg aus zwei Hälften beſteht, wovon zuletzt beide im Sinken, und jedes Thal aus zwei Hälften, wovon beide im Steigen begriffen ſind. Was hier am Ende A B des Kaſtens vorgeht, findet auch in den vorderen Theilen Statt; ſollen die am Anfange des Kaſtens reflectirten Wellen in das Ganze paſſen, ſo muß die Hälfte der Wellenlänge ein aliquoter Theil der Länge des Kaſtens ſeyn.

Ganz auf dieſelbe Weiſe kann man ſich von dem Vorgange bei der Bildung ſtehender Schwingungen an geſpannten Saiten, Stäben u. dgl. gewiſſermaßen auch in einer Luftſäule Rechenſchaft geben, wenn man nur auf die Geſtaltung der Welle bei der Reflexion am Ende der Saite, des Stabes, der Luftſäule ꝛc. gehörig achtet. So weichen die transverſalen Wellen an einer Saite von dem, was die Waſſerwellen zeigen, darin ab, daß an den Enden der Saite die reflectirte Ausbiegung die entgegengeſetzte Lage erhält. Bei den Luftwellen hat man zu berückſichtigen, ob die Reflexion an dem offenen oder geſchloſſenen Ende einer Röhre vor ſich geht (370), und in beiden Fällen den Einfluß, den die Beweglichkeit der Körpertheilchen, worin die Reflexion Statt findet, auf das Phänomen äußert, in Erwägung zu ziehen, welcher Einfluß beſonders bei einer offenen Röhre ſehr bedeutend iſt und die theoretiſche Unterſuchung erſchwert. Man kann ſich zur Darſtellung longitudineller Wellen derſelben Zeichnung bedienen, welche für transverſale ſich von ſelbſt aufdringt, wenn man nämlich auch Verdichtun-

gen und Verdünnungen durch entgegengeſetzte Ausbiegungen einer krummen Linie anzeigt.

381. Stehende Querſchwingungen einer geſpannten Saite werden hervorgebracht, wenn man einen Geigebogen rechtwinkelig auf die Saite aufſetzt und ſie damit ſtreicht. Sie ſchwingt dabei entweder der ganzen Länge nach, und nimmt dann bei der größten Excurſion die Geſtalt AFB und AfB an (Fig. 158), wo AB die ruhende Saite vorſtellt, oder ſie ſchwingt mit Schwingungsknoten. Mit einem Schwingungsknoten ſchwingt ſie ſo, daß ſie abwechſelnd die Geſtalt AFDfB, Fig. 159, und die entgegengeſetzte annimmt, mit zweien ſo, wie Fig. 160 zeigt. Man kann eine ſolche Unterabtheilung einer Saite leicht hervorbringen, wenn man ſie z. B. im vierten Theile ihrer Länge mit einem Finger ſanft berührt, und den kürzeren Theil mit dem Bogen ſtreicht. Setzt man auf verſchiedene Puncte der Saite, mitunter auch auf die, welche ſie in vier gleiche Theile abtheilen, kleine Papierſtreifen wie Reiter, und verfährt wie vorhin, ſo bleiben die auf die Viertheilungspuncte aufgeſetzten allein ſitzen, und die übrigen ſpringen herab. Jedes zwiſchen zwei unmittelbar auf einander folgenden Schwingungsknoten befindliche Stück einer Saite ſchwingt dergeſtalt, als ob bloß eine kürzere in dieſen Puncten befeſtigte Saite vorhanden wäre. Bedeutet nun l die Länge eines durch zwei Schwingungsknoten oder Befeſtigungspuncte begrenzten, ſelbſt aber keine Schwingungsknoten enthaltenden Stückes einer Saite, p deſſen Gewicht, q die Spannung der Saite in Gewicht ausgedrückt, g die Acceleration der Schwere, ſo beſteht, wie die theoretiſche Unterſuchung lehrt, für die Anzahl n der Schwingungen, welche die Saite während einer Secunde macht, die Formel $n = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{gq}{pl}}$. Bezeichnet s das ſpecifiſche Gewicht des Materiales der Saite, und d ihren Durchmeſſer, ſo iſt, der cylindriſchen Form der Saite wegen, $p = \frac{1}{4}\pi d^2 l s$, mithin $n = \frac{1}{ld}\sqrt{\frac{gq}{\pi s}}$. Dieß iſt zugleich der Ausdruck der Tonhöhe, die daher der Quadratwurzel der Spannung direct, und der Länge, der Dicke und der Quadratwurzel des ſpecifiſchen Gewichtes der Saite verkehrt proportionirt iſt. Wird alſo eine Saite zuerſt ihrer ganzen Länge nach, dann mit 1, 2, 3, 4, 5 ꝛc. Schwingungsknoten zum Tönen gebracht, ſo gibt ſie nach der Reihe den Grundton, die Octave, die Quinte der letzteren, die höhere Octave, deren große Terz u. ſ. w. Es kann ſogar eine Saite der ganzen Länge nach und zugleich in mehreren aliquoten Theilen ihrer Länge ſchwingen, und dadurch gleichzeitig mehrere conſonirende Töne hören laſſen. Aus der Conſonanz der Töne, welche den genannten Schwingungsweiſen einer Saite entſprechen, erklärt ſich auch die Wirkung der Aeolsharfe, einer aus mehreren über einen Reſonanzboden geſpannten, gleichgeſtimmten Saiten beſtehenden Vorrichtung, welche einem Luftzuge ausgeſetzt in harmoniſchen Tönen erklingt.

Verſetzt man eine hinreichend lange, am beſten mit Metall überſponnene Darmſaite in Querſchwingungen; ſo hört man nebſt dem Haupttone, den ſie gibt, wenn ſie nach der ganzen Länge ſchwingt, mehrere höhere Nebentöne, und zwar, wie geſagt, die nächſt höhere Octave, die Quinte dieſer Octave u. ſ. w. Da nun die Spannung und Dicke der Saite unverändert geblieben iſt, ſo muß mit der ganzen Saite auch zugleich ein Theil ſchwingen, der die Octave, ein anderer, der die Quinte der Octave gibt u. ſ. f., mithin muß ſie ſich in Stücke theilen, deren Länge $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ ꝛc. der ganzen Saite beträgt, und jeder Theil muß ſo ſchwingen, als wäre er für ſich beſtehend. Eine Saite die der ganzen Länge nach und zugleich in aliquote Theile getheilt ſchwingt, muß nothwendig eine Geſtalt annehmen, die aus der Geſtalt, welche beiden Schwingungsarten zukommt, zuſammengeſetzt iſt. Hat z. B. die Saite AB (Fig. 159) die Krümmung AHB, wenn ſie der ganzen Länge nach ſchwingt, hingegen die Geſtalt AFDfB, wenn jede ihrer Hälften ſchwingt; ſo entſteht aus dieſen beiden die Krümmung AECeB, die man erhält, wenn man HE = GF und he = gf macht, endlich durch A, E, C, e, B die Curve zieht. Der Hergang der Bildung der ſtehenden Schwingung einer Saite aus den fortſchreitenden Wellen (380) erklärt, wie es kommt, daß die bloße Berührung einer geſtrichenen Saite in einem Theilungspuncte dieſelbe nöthiget ſich in mehrere, gleichſam ſelbſtſtändig ſchwingende Theile abzutheilen. Daß eine tönende, nach der Quere ſchwingende Saite nicht gerade in der Mitte ihre größte Ausbeugung haben muß, und daß dieſe, der Tonhöhe unbeſchadet, an jeder Stelle zwiſchen den zwei Enden Statt finden kann, iſt für ſich klar. Eine Saite hat bei der größten Ausbeugung immer die größte Länge und Spannung. Ruhen die Enden einer Saite nicht auf ſcharfen, ſondern auf nach einem beſtimmten Geſetze abgerundeten Stegen; ſo muß ſich die Saite nach Maßgabe ihrer größeren oder kleineren Excurſion mehr oder weniger abwickeln, und ihre durch dieſes Abwickeln vermehrte Verlängerung kann durch die vermehrte Spannung genau compenſirt werden, ſo daß bei größeren und kleineren Excurſionen Töne von gleicher Höhe entſtehen. (Weber in Pogg. Ann. 28. 1.)

382. Längenſchwingungen werden erregt, wenn man den Bogen unter einem ſehr ſpitzen Winkel auf die Saite aufſetzt und ſie damit ſtreicht. Dabei ziehen ſich alle oder nur einzelne Theile der Saite abwechſelnd zuſammen, und dehnen ſich wieder aus. Schwingt die Saite AB (Fig. 161) ohne Schwingungsknoten, ſo ſtützen ſich ihre Theile bei der Bewegung an die befeſtigten Enden; berührt man ſie in der Mitte C leicht, ſo bildet ſich da ein Schwingungsknoten, und die Theile der Saite bewegen ſich abwechſelnd gegen und von einander, wie die Pfeile zeigen. Auf gleiche Weiſe kann man eine Abtheilung in 3, 4 ꝛc. Theile, mithin 2, 3 ꝛc. Schwingungsknoten erzeugen, wenn man die Saite in $^1/_3$ oder $^1/_4$ ꝛc. ihrer Länge ſanft berührt. Fig. 162 ſtellt die Schwingungsweiſe, wenn drei Schwingungsknoten vorhanden ſind, dar. Nimmt man die Schwingungsanzahl der ganzen Saite als Einheit an, ſo laſſen ſich die Schwingungszahlen bei 1, 2, 3 ꝛc. Schwingungsknoten durch 2, 3, 4 ꝛc. ausdrücken. Der abſolute Werth der Tonhöhe iſt $n' = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{g}{k}}$, wobei l die Länge der Saite und k die Verlängerung bedeutet, welche ein Stück der Saite,

deſſen Länge = 1 iſt, erfährt, wenn es durch ſein eigenes Gewicht gedehnt wird. Die Geſetze der Längenſchwingungen haben ſonach mit denen der transverſalen nichts gemein, als daß ſich die Höhe des Tones nach der Länge der Saite richtet, und die Schwingungszahlen dieſer Länge verkehrt proportionirt ſind; aber die durch Längenſchwingungen hervorgebrachten Töne ſind durchaus höher als jene, welche bei Querſchwingungen derſelben Saite entſtehen, gar nicht von der Dicke und wenigſtens in ſo fern die bereits vorhandene Dehnung den Werth von k nicht merklich afficirt, wie es bei langen oder ſchwächer geſpannten Saiten der Fall iſt, auch nicht von der Spannung, wohl aber vom Materiale der Saite abhängig. Man muß daher zu Verſuchen über dieſe Schwingungen, welche der Formel nicht widerſprechen ſollen, entweder ſehr lange Saiten nehmen, oder die Spannung nicht zu ſehr ſteigern.

Die Längenſchwingungen ſtehen zu den transverſalen einer und derſelben Saite bei gleichen Umſtänden in einer ſolchen Beziehung, daß ſich das Quadrat der Schwingungsanzahl bei erſteren zum Quadrate der Schwingungsanzahl bei letzteren verhält wie die Saitenlänge zu der durch ihre Spannung erzeugten Verlängerung. Dieß iſt eine unmittelbare Folge der obigen Formeln. Denn bedeutet l die Länge, p das Gewicht der Saite, ſo hat ein Stück, deſſen Länge = 1 iſt, das Gewicht $\frac{p}{l}$. Da nun dieſes Gewicht an der Länge 1 die Dehnung k hervorbringt, ſo erhalt die Länge l durch eben dieſes Gewicht die Dehnung k l. Nennt man nun λ die Verlängerung von l bei der Spannung q, ſo iſt $\lambda : k\,l = q : \frac{p}{l}$, mithin hat man $k = \frac{p\lambda}{q\,l^2}$. Dieſes Reſultat in die Formel für n′ eingeführt, gibt $n' = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{gq}{p\lambda}}$. Hieraus, und aus dem Werthe für n (381), ergibt ſich $\frac{n'}{n} = \sqrt{\frac{l}{\lambda}}$. Auch iſt leicht einzuſehen in welcher Beziehung die Werthe von n und n′ zu den an einem früheren Orte (348, 351) angegebenen Fortpflanzungsgeſchwindigkeiten der transverſalen und longitudinalen Wellen ſtehen Man erhält nämlich letztere Werthe aus erſteren, wenn man dieſe mit 2 l multiplicirt. Denn die Diſtanz zweier nächſten Schwingungsknoten oder l iſt die Hälfte der Wellenlänge; die Wellenlänge aber das Product aus der Fortpflanzungsgeſchwindigkeit c und der Schwingungsdauer $\frac{1}{n}$. Daher beſteht die Gleichung $2\,l = \frac{c}{n}$, d. i. $c = 2\,l\,n$. Die Schwingungen einer Saite mögen transverſal oder longitudinal ſeyn, ſo bewegen ſich ihre kleinſten Theile doch immer nach der Länge und nach der Quere zugleich, indem bei jeder wie immer gearteten Schwingung nur eine Annäherung oder eine Entfernung der kleinſten Theile von einander Statt finden kann, und in ſofern iſt es wohl begreiflich, daß transverſale Schwingungen faſt immer von longitudinalen begleitet ſind und umgekehrt, ſo wie daß eine transverſal wirkende Kraft Längentöne erzeugen kann, und in ſofern beſteht das Tönen einer Saite allerdings in einer Molecularbewegung; aber dieſe Bewegung iſt in der That eine oſcillirende,

weil die Theilchen nach einer und dann nach der entgegengeſetzten Richtung aus der Lage des Gleichgewichtes treten; der Inbegriff dieſer Bewegungen aller Theile macht nun die Bewegung der Saite aus, und dieſe iſt alſo auch eine oſcillirende. Darum ſagt man ſchlechtweg das Tönen einer Saite entſtehe durch die oſcillirende Bewegung derſelben. (Vergleiche Pelliſow in Schweigg. 67. 169.)

383. Eine ſchmale, nur der Länge nach geſpannte Membrane ſchwingt ſo wie eine Saite, und die Knoten aller Längenfaſern bilden eine Knotenlinie. Iſt dieſe Membrane breiter, ſo befolgt ſie in ihren Schwingungen Geſetze, wie elaſtiſche Scheiben, von denen in der Folge die Rede ſeyn wird. Eine allerſeits geſpannte Membrane, wie z. B. ein Trommelfell, kann einige Schwingungen annehmen, die mit denen der Saiten übereinkommen, und bei dieſen befolgen auch die Töne nach Riccati's Erfahrungen dieſelben Verhältniſſe, wie bei Saiten; aber einige Schwingungsarten weichen von denen an Saiten bedeutend ab, ja es ſind manche, die bei Saiten Statt finden, für geſpannte Membranen ganz unmöglich. Durch aufgeſtreuten Sand kann man die Schwingungsknoten an geſpannten Membranen ſichtbar machen. Dieſes geht beſonders leicht von Statten bei geſpannten, dünnen Häutchen aus Kautſchuk, die man durch einen Luftſtoß zum Tönen bringt, indem man in eine ſenkrecht gegen das Häutchen ſtehende, aber dasſelbe nicht berührende Röhre bläſt. (Marx in Pogg. J. 65. 148; 66. 109)

384. Die Schwingungen elaſtiſcher Stäbe geſchehen nach anderen Geſetzen, als die der Saiten, weil ihre Elaſticität nach allen Richtungen, nicht bloß nach der Länge, wirkt. Da ſie für ſich, ohne künſtliche Spannung, ſchon elaſtiſch ſind; ſo kann man die Verſuche mit ihnen auf mannigfaltige Art abändern, man kann ſie entweder an einem Ende, oder nur in der Mitte, oder an beiden Enden befeſtigen, an einem Ende an einen harten Körper anſtemmen, am anderen frei laſſen oder befeſtigen, oder endlich an beiden Enden anſtemmen.

385. Wenn man ſolche gleich dicke und gleichförmig dichte Stäbe, wie z. B. Stahl- oder Glasſtangen oder ſchmale Glasſtreifen, mit einem Bogen rechtwinkelig ſtreicht; ſo geben ſie wahrnehmbare Töne, deren Höhe bei übrigens gleichen Umſtänden im geraden Verhältniſſe mit der Dicke, und im verkehrten mit dem Quadrate der Länge ſteht. Sollen Schwingungsknoten entſtehen, ſo darf man den Stab nur an der Stelle, wo einer hinfällt, leicht berühren und ihn dann ſtreichen; an flachen Stäben kann man die Schwingungsknoten durch Sand ſichtbar machen. Da zeigt es ſich, daß ſich alle an einem parallelepipediſchen Stabe möglichen Knotenlinienſyſteme in gewiſſe Claſſen bringen laſſen, nach Maßgabe der Anzahl der Stellen, wo ſie die Axe der ſchwingenden Fläche des Stabes ſchneiden. Die in eine Claſſe gehörigen ſchneiden dieſe Axe nicht bloß in gleich vielen, ſondern auch genau an denſelben Stellen. Mit der Anzahl der Schwingungsknoten nimmt die Höhe des Tones zu. Den tiefſten Ton gibt daher ein Stab, der ohne Knoten ſchwingt, wie A B in Fig. 163. Iſt dieſer in A befeſtigt, in B aber frei, ſo macht er beim Schwingen mit ſeiner Rich-

tung AB im ruhigen Zuſtande Winkel, deren Scheitel im befeſtigten Punkte A liegen; bei jeder anderen Schwingungsart wird dieſe Richtung in ſo vielen Puncten durchſchnitten, als Schwingungsknoten vorhanden ſind. Bei einem derſelben ſchwingt er, wie Fig. 164, bei zweien, wie Fig. 165 zeigt. Iſt der Stab in A bloß angeſtemmt, in B ganz frei, ſo hat er bei der einfachſten Schwingungsart ſchon einen Schwingungsknoten, aber ſeine Geſtalt weicht von der in Fig. 164 bezeichneten ab, und iſt mehr gekrümmt, indem ſich da die Theile ſchon nahe am angeſtemmten Ende mehr von ihrer natürlichen Richtung entfernen können, als es im vorhin erwähnten Falle möglich war. Sind beide Enden des Stabes frei, ſo hat er bei der einfachſten Schwingung ſchon zwei Schwingungsknoten. Ein beiderſeits angeſtemmter Stab ſchwingt wie eine Saite, nur mit einer anderen Folge der Tonhöhen; ja ſelbſt wenn er an beiden Enden befeſtigt iſt, haben ſeine Schwingungen noch mit denen der Saiten viele Aehnlichkeit, es ſind aber ſowohl die Tonverhältniſſe als auch die Krümmungen von denen eines beiderſeits bloß angeſtemmten Stabes merklich verſchieden. Spannt man einen dünnen, polirten Stahlſtab, z. B. eine durch Hämmern gehärtete Stricknadel, an einem Ende in einen Schraubſtock ein, und verſetzt ihn durch einen Hammerſchlag in Querſchwingungen; ſo kann man die Geſtalt desſelben beim Oſcilliren und den Ort ſeiner Schwingungsknoten genau ſehen. Hat er am freien Ende ein polirtes Knöpfchen, ſo gibt dieſes, vom Sonnenlichte oder von einer Kerzenflamme beleuchtet, beim Schwingen ſehr ſymmetriſche Figuren. Wheatſtone's Kaleidophon. (Schweigg. J. 50. 490.)

Die Tonhöhen eines einerſeits befeſtigten, andererſeits freien Stabes, der mit 1 oder 2 Schwingungsknoten ſchwingt, verhalten ſich, wie die Quadrate der Zahlen 2 und 5; wenn er aber mehrere Knoten hat, vom zweiten an, wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 ꝛc. Iſt ein Ende angeſtemmt, das andere frei, ſo folgen die Töne auf einander, wie die Quadrate von 5, 9, 13, 17 ꝛc; ſind beide Enden frei, wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 ꝛc. Die Tonreihe eines beiderſeits angeſtemmten Stabes folgt den Quadraten von 1, 2, 3, 4 ꝛc., die eines beiderſeits befeſtigten den Quadraten von 3, 5, 7 ꝛc. Ein einerſeits befeſtigter, andererſeits angeſtemmter Stab befolgt dasſelbe Geſetz der Tonreihe, wie ein einerſeits angeſtemmter, andererſeits freier. Die Lage der Knotenlien eines elaſt. Stabes kann man durch Verſuche, noch beſſer aber durch Rechnung beſtimmen. Daniel Bernoulli in Com. Acad. Petrop. tom. 8.; Euler in Act. Acad. Petrop. 1779. 1. 103. Die Vergleichung der Reſultate mit der Erfahrung gibt Strehlke in Pogg. Ann. 27. 505; auch in Dove's Repertorium 3. 108. Sehr wichtig ſind die neueren math. Arbeiten von Poiſſon und Cauchy über dieſen und verwandte Gegenſtände. Die Reſultate der Rechnung und der zur Prüfung derſelben unternommenen Verſuche ſammt Angabe der Quellen findet man in Fechner's Repertor. 1. 264 u. f.

386. Reibt man einen elaſtiſchen, hinreichend langen, glatten, möglichſt geraden, dünnen Stab nach der Länge mit einem befeuchteten oder mit Harz überſtreuten Lappen; ſo geräth er in Längen-

ſchwingungen. Glasſtreifen verſetzt man in ſolche Schwingungen am leichteſten durch einen Schlag, oder durch Reiben eines mit demſelben der Länge nach verbundenen Glasſtabes. Bei dieſen Schwingungen theilt ſich der Stab nach Umſtänden in gleichmäßig ſchwingende Theile, die durch Schwingungsknoten von einander getrennt ſind, und läßt Töne hören, die unter einander in ſehr einfachen Verhältniſſen ſtehen. Um die Schwingungsknoten ſichtbar zu machen, wendet man Sand an, oder ſteckt Papierblättchen daran, die ſich während der Schwingungen gegen die Ruheſtellen hinſchieben. Ein an einem Ende befeſtigter Stab ſchwingt entweder ſeiner ganzen Länge nach, oder er zeigt einen Schwingungsknoten der um $\frac{1}{3}$ ſeiner Länge vom freien Ende abſteht (Fig. 166) oder deren zwei (Fig. 167) oder drei (Fig. 168) u ſ. w. Dabei iſt das freie Ende ſtets halb ſo lang als jedes der zwiſchen zwei ruhenden Puncten liegenden Stücke, und die Schwingung beſteht in einem abwechſelnden Zuſammendrängen und Auseinandergehen der Materie des Stabes in der Nähe der ruhenden Puncte, wie es die beigeſetzten Pfeile angeben. Die Tonfolge entſpricht hiebei den Zahlen 1, 3, 5, 7,... Iſt der Stab ganz frei, ſo bildet ſich bei der mit dem tiefſten Tone verbundenen Schwingungsweiſe ein Schwingungsknoten in der Mitte (Fig. 169); es können aber auch zwei, drei,... Schwingungsknoten Statt finden, wobei wieder das Geſetz obwaltet, daß jedes freie Stück die Hälfte eines zwiſchen zwei unbeweglichen Puncten enthaltenen iſt. Sieht man den tiefſten Ton, den der an einem Ende befeſtigte, am andern freie Stab gibt, als Grundton an, ſo ſind die relativen Werthe der Töne des ganz freien Stabes 2, 4, 6,... und dieſelbe Tonfolge tritt auch ein, wenn der Stab an beiden Enden befeſtiget iſt. Die Töne bei ähnlichen Schwingungsweiſen gleich langer Stäbe hängen im Allgemeinen nicht von der Dicke derſelben, wohl aber vom Materiale ab.

Iſt l die Diſtanz zweier unmittelbar auf einander folgenden feſten Puncte, oder die doppelte Länge eines freien Endes des Stabes, n die abſolute Tonhöhe, c die Geſchwindigkeit einer fortſchreitenden Welle im Stabe, ſo beſteht die Gleichung $c = 2nl$. Sie kann, wie Chladni zuerſt gewieſen hat, benützt werden, um die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit des Schalles in Stäben von verſchiedenem Material zu beſtimmen. Handelt es ſich bloß um eine Vergleichung dieſer Geſchwindigkeiten, ſo nehme man gleich lange Stäbe, und man hat, wenn c', n' einem zweiten Stabe derſelben Länge l gehören: $c : c' = n : n'$. Hier ſtehen alſo die Geſchwindigkeiten des Schalles mit den Tonhöhen bei gleicher Schwingungsweiſe in einerlei Verhältniß.

Die Anordnung der Schwingungsknoten und insbeſondere die Verſchiedenheit der Stellung derſelben, je nachdem die Enden des Stabes unter gleichen oder verſchiedenen Umſtänden wirken, iſt eine Folge des Zuſammentreffens der directen Wellen mit den reflectirten, und der Verſchiedenheit der Stellung des verdichteten und verdünnten Theiles letzterer gegen die Richtung des Fortſchreitens der Welle, je nachdem die Reflexion an einem freien oder an einem feſten Ende eines Stabes vor ſich geht. Zur Erläuterung dieſes Gegenſtandes und zur Uebung in ſolchen Betrachtungen mögen die Figuren 170, 171, 172 dienen, welche die Entſtehung eines und zweier Schwingungsknoten an einem

beiderſeits freien Stabe, und eines Schwingungsknotens, wenn ein Ende befeſtigt, das andere frei iſt, graphiſch darſtellen. In dieſen Figuren bedeutet die Ausbiegung der krummen Linie nach oben, Verdichtung, die nach unten, Verdünnung, deren Größen an jeder Stelle durch den Abſtand der krummen Linie von der geraden angezeigt werden. Die Pfeile geben die Richtungen der den Verdichtungen oder Verdünnungen proportionirten Geſchwindigkeiten der vibrirenden Theilchen in jeder einzelnen fortſchreitenden Welle an; es geht daher ein verdichteter Wellentheil nach der Richtung ſeines Pfeiles, ein verdünnter, dem Pfeile entgegen. Jene Stellen, wo beide auf einander einwirkende Wellen fortwährend mit entgegengeſetzten Pfeilen und gleich großen übereinſtimmenden Zuſtänden (Verdichtung oder Verdünnung) auftreten, ſind die Schwingungsknoten. Sie fallen in den in gleichen Zeitabſchnitten auf einander folgenden, an den Horizontallinien vorgeſtellten Phaſen der Bewegung in die durch die punctirten Verticallinien angegebenen Plätze. Die ſtarken Verticallinien entſprechen den Orten der ſtärkſten Bewegung der Theilchen, und man ſieht, daß dort die natürliche Dichte herrſcht, weil ſich daſelbſt gleichzeitig eine gleich große Verdichtung und Verdünnung einſtellt.

387. Außer den angeführten zwei Schwingungsarten ſind Stäbe noch einer dritten fähig, der drehenden. Man erregt ſie am leichteſten an cylindriſchen Stäben, die man an einem Ende in einen Schraubſtock einſpannt und am anderen in drehender Bewegung mit einem Bogen ſtreicht. Durch Berühren an Stellen, wohin Schwingungsknoten fallen, kann man auch eine Abtheilung in ſchwingende Theile bewirken.

Die Längen-, Quer- und drehenden Schwingungen elaſtiſcher Stäbe ſtehen, wie die analytiſchen Unterſuchungen von Poiſſon und Cauchy gelehrt haben, mit einander in einer ſolchen Verbindung, daß man aus der durch Erfahrung ausgemittelten Schwingungsanzahl bei einer dieſer Schwingungsarten auf die bei den anderen ſchließen kann, und die Ergebniſſe der Erfahrung bekräftigen die Reſultate der Theorie.

388. Die hier dargeſtellten Geſetze der Schwingungen gerader Stäbe befolgen auch die gekrümmten, nur mit dem Unterſchiede, daß die Schwingungsknoten, zwiſchen welche die Biegung fällt, durch die Krümmung einander näher gerückt und ſo die Töne erhöht werden. Davon überzeugt man ſich am leichteſten, wenn man eine Stange von Glas oder Metall nach und nach immer mehr biegt, und ſie bei jedem Grade der Biegung zum Tönen bringt. Ein gabelförmiger Stab, wie unſere Stimmgabeln, gibt den tiefſten Ton, wenn man ihn an einem Ende faßt und am andern ſchlägt, oder mit einem Bogen ſtreicht. Einen höheren Ton gibt er, wenn er mit zwei Knoten, wie in Fig. 173, und einen noch höheren, wenn er mit vier ſchwingt, wie aus Fig. 174 zu erſehen iſt. Ein ringförmiger Körper theilt ſich beim Schwingen in 4, 6, 8... gleiche Bogentheile, die nach entgegengeſetzten Richtungen ſchwingen. Berührt man ihn an den Grenzen ſolcher Theile, und ſtreicht ihn an einer Stelle, die zwiſchen zwei ſolchen Grenzen liegt; ſo bekommt man einzelne Töne heraus, die den Schwingungen der Theile entſprechen und deſto höher ſind, in je mehr ſolche Theile ſich der Ring getheilt hat.

389. Bei der Erörterung der Geſetze dieſer Schwingungen betrachtet man gewöhnlich elaſtiſche Stäbe bloß als Linien, und ſieht dabei gleichſam nur auf die relative Bewegung der Theile, welche in einer der Längenrichtung des Stabes parallelen Geraden ſich befinden. Bei langen und dünnen Stäben kann dieſes auch ohne merklichen Fehler geſchehen; bei ſolchen hingegen, wo die Breite und Dicke ſo groß ſind, daß ſie einen merklichen Einfluß auf die Schwingungen des Ganzen nehmen, werden die aus ſolcher Vorausſetzung abgeleiteten Geſetze merklich modificirt. So ſind bei longitudinal ſchwingenden maſſiven Cylindern die Knotenlinien nicht, wie man es erwarten dürfte, Kreiſe, deren Ebenen auf der Axe des Cylinders ſenkrecht ſtehen, ſondern ſie weichen davon beträchtlich ab. Auch fallen die Schwingungsknoten an beiden Oberflächen eines hohlen Cylinders nicht in dieſelben Querſchnitte. Nach Poiſſon's Analyſe erfolgt während einer Längenſchwingung eines Stabes zugleich eine auf ſeine Axe ſenkrechte (normale) Schwingung, die mit jener iſochron iſt, und dort die größte Ausbeugung verurſacht, wo bei jener ein Schwingungsknoten iſt und umgekehrt. Selbſt transverſale Schwingungen ſcheinen von longitudinalen und drehenden Verſchiebungen der Theile begleitet zu werden.

Sehr intereſſant ſind in erwähnter Beziehung die Reſultate, welche Savart (Ann. de Ch. 25. 255) über die Lage der Schwingungsknoten an Cylindern und langen Platten bekannt machte. Er hielt die zu unterſuchenden Cylinder horizontal, behing ſie von außen mit ſchmalen, ovalen Papierringen, vertheilte, wenn ſie hohl waren, im Inneren derſelben feinen Sand möglichſt gleichförmig, und ſtrich ſie der Länge nach. Dabei fand er, daß die Schwingungsknoten hohler Cylinder nicht an beiden Oberflächen in dieſelben Querſchnitte fallen, ſondern daß dort, wohin an der inneren Fläche ein Schwingungsknoten fällt, die Theile der äußeren Oberfläche die größte Bewegung haben. Als er eine ſolche Röhre um ihre Axe drehte, und in jeder Lage den Ort der Schwingungsknoten unterſuchte, überzeugte er ſich, daß die Knoten beider Oberflächen in ſchraubenförmigen Linien liegen, die aber nicht gleichförmig gebeugt um die Röhre herumgehen, ſondern meiſtens aus zwei Stücken beſtehen, wovon das eine in einem Querſchnitte der Röhre liegt, während das andere mehr gerade ausgeht. Fig. 175 zeigt dieſes für Eine Oberfläche. Bei einigen Röhren, die man in der Mitte hält und an einem Ende ſtreicht, findet man die Schraubenlinie an einer Hälfte rechts, an der anderen links gewunden, und beide in der Mitte aufhörend; bei anderen findet man die Knotenlinie durch die ganze Röhre auf dieſelbe Weiſe gewunden. Die Gebrüder Weber (Wellenlehre S. 555 und Schweigg. J. 44. 389; 45. 290 und 298) wollen an kurzen, weiten, ſehr regelmäßigen Röhren die Knotenlinien der inneren Wand quer um den Cylinder liegend gefunden haben, jedoch ſo, daß ſich jede derſelben nur auf den halben Umfang eines Querſchnittes erſtreckte; für die andere Hälfte fiel ſie in einen anderen Querſchnitt. Von der ſpiralförmigen Anordnung der Knotenlinien bei den Längenſchwingungen der Cylinder fand Savart ſelbſt noch an ſchmalen, langen, ſchwingenden Platten eine Spur. Bringt man nämlich einen $1/2$—$3/4$ Z. breiten, langen, horizontalen und mit Sand beſtreuten Glasſtreifen zum Schwingen; ſo ordnet ſich der Sand in parallele, auf der Länge des Streifens ſenkrechte Linien. Merkt man ſich dieſe Stellen, kehrt dann den Streifen um, und ver-

ſetzt ihn aufs Neue in Längenſchwingungen; ſo ſammelt ſich der Sand nicht mehr an den den vorigen gegenüber liegenden Stellen, ja wenn der Streifen 1—1½ L. dick iſt, ſo liegen die nun vorhandenen Knotenlinien genau der Mitte zweier vorhin entſtandenen gegenüber. An der ſchmäleren Seite der Platte liegen die Knotenlinien gar ſchief, als wollten ſie die den beiden entgegengeſetzten Flächen zugehörigen mit einander verbinden. An (1—2 Zoll) breiten Streifen erſcheinen ſelbſt die Knotenlinien der größeren Flächen gebogen.

390. Wenn elaſtiſche Platten an einer oder an mehreren Stellen feſt gehalten und an einer anderen mit einem Bogen normal geſtrichen werden, ſo bilden die Knotenlinien, die durch aufgeſtreuten Sand ſichtbar gemacht werden, gewiſſe Figuren, welche man Klangfiguren, oder insbeſondere nach ihrem Entdecker, Chladni'ſche Klangfiguren nennt, und aus denen man auf die Art der Bewegung der Platten ſchließen kann. Um dieſe Figuren rein hervorzubringen, gebraucht man am beſten Scheiben von grünem, dünnen Fenſterglaſe, denen der ſcharfe Rand benommen worden iſt; matt geſchliffene Glastafeln gewähren den Vortheil, daß man die Klangfiguren mit einem fein geſpitzten Bleiſtift nachzeichnen kann; es laſſen ſich aber auch Metallplatten und ſelbſt Holzſcheiben dazu brauchen. Man reicht meiſtens aus, wenn die Platten einen Durchmeſſer von 3—6 Zoll haben, nur für verwickeltere Figuren braucht man größere, am beſten metallene Tafeln. Zum Beſtreuen ſolcher Platten wählt man meiſtens farbigen Streuſand, mit oder ohne beigemengten feinen Staubtheilchen (Lycopodium), wohl auch letztere allein. Die Sandtheile häufen ſich an den Knotenlinien, die feinen Staubtheile (das Lycopodium) aber an den Stellen der ſtärkſten Bewegung an. Die Form der Klangfiguren wird durch die Lage des Entſtehungsortes der Wellen, durch die Länge der entſtandenen Wellen und durch die Geſtalt der Platte beſtimmt, wie man leicht einſieht, wenn man bedenkt, daß ſie aus dem regelmäßigen Zuſammentreffen der directen und reflectirten Wellen entſtehen. Daher geben Platten von verſchiedener Geſtalt auch verſchiedene Klangfiguren, daher laſſen ſich auch in derſelben Platte verſchiedene Klangfiguren hervorbringen, je nachdem man mit dem Bogen ſtärker oder ſchwächer, ſchneller oder langſamer ſtreicht, und dadurch gleichſam die Länge einer Welle beſtimmt, endlich die Lage des Punctes, wo man die Platte hält, gegen den, welchen man ſtreicht, abändert. Die Zeichnungen Fig. 176—182 ſtellen ſolche Klangfiguren an quadratförmigen und kreisrunden Scheiben vor, welche entſtehen, wenn man ſie in a hält und in b ſtreicht. Man kann die an einer Platte von beſtimmter Geſtalt hervorbringbaren Klangfiguren, ähnlich denen an transverſal ſchwingenden Stäben nach Maßgabe der Anzahl und Lage gewiſſer Puncte, wo Knoten hinfallen, in mehrere Claſſen bringen. So z. B. machen bei einer kreisrunden Scheibe alle bloß aus Durchmeſſern beſtehenden Figuren eine eigene Claſſe, die aus concentriſchen Kreiſen ohne Durchmeſſer beſtehenden eine andere, die aus Kreiſen und Durchmeſ-

ſern gebildeten wieder eine andere ꝛc. Die Klangfiguren beider Oberflächen liegen, wenigſtens bei dünnen Scheiben, genau über einander.

391. Die einfachſte Figur iſt immer von dem tiefſten Tone begleitet, den eine Scheibe gibt, und je zuſammengeſetzter eine Klangfigur wird, deſto höher fällt auch der Ton aus. So gibt eine Quadrattafel bei der Behandlung, wo auf ihr die Fig. 176 entſteht, den tiefſten Ton; ein höherer begleitet die Fig. 177, und ein noch höherer die Fig. 178. Doch gehört nicht zu jedem Tone eine eigene Klangfigur; denn ähnliche, jedoch ungleich große Scheiben geben bei gleicher Behandlung gleiche Figuren, aber Töne von verſchiedener Höhe; und in derſelben Scheibe kann man oft durch eine kleine Verrückung der gehaltenen Stelle eine Aenderung der Figur hervorbringen, ohne daß die Höhe des Tones nur im geringſten geändert wird. So geht in einer Quadrattafel die Fig. 179 alſogleich in 180 über, wenn man die feſt gehaltene Stelle a nur wenig einwärts rückt, und doch bleibt die Höhe des Tones unverändert. Die zu ähnlichen Klangfiguren gehörenden Töne von Platten aus derſelben Materie und von ähnlicher Form der Oberfläche verhalten ſich gerade wie die Dicken der Platten, und verkehrt wie die Quadrate homologer Abmeſſungen der Oberfläche.

392. Die Knotenlinien ſind, nach Chladni, bald gerade, wie in Fig. 176—179, bald gekrümmt, wie in Fig. 180, und die Krümmungen können zu allerlei krummen Linien gehören; wenn ſie aber nicht in ſich zurückkehren, ſo erſtrecken ſie ſich immer bis an die Ränder der Scheibe, und hören nie in derſelben auf. Die Entfernung einer Knotenlinie von einer anderen iſt immer ein aliquoter Theil der Dimenſion der Platte, welche auf ihnen ſenkrecht ſteht. Verwickelte Klangfiguren haben das Eigene, daß ſie ausſehen, als wären ſie aus einfachen zuſammengeſetzt, die man an ähnlichen Tafeln erzeugen kann. So entſteht die Fig. 183, die man an einer etwas großen Quadrattafel erzeugen kann, auch, wenn man 4 kleine Tafeln, an denen die Figur 176 hervorgebracht wurde, ſo zuſammenſetzt, wie die ſtark ausgezogenen Linien zeigen.

393. Die feineren Staubtheile machen, wie ſchon vorhin geſagt worden, die Stellen der ſtärkſten Bewegung ſichtbar. Eine ſolche muß ſich natürlich zwiſchen zwei Knotenlinien befinden, und daſelbſt findet man, meiſtens in runden Häufchen, den feinen Staub geſammelt, wenn die Platte zu ſchwingen aufgehört hat; während des Schwingens derſelben bildet er kleine Wölkchen ober der betreffenden Stelle. Der Grund, warum ſich ſolche Staubwolken und Staubfiguren bilden, liegt nach Faraday in der mechaniſchen Wirkung der ſchwingenden Oberfläche auf die darüber befindliche Luft. Die im Aufſteigen begriffenen Theile der ſchwingenden Platte treiben nämlich die darüber befindliche Luft vor ſich hin, und zwar an den Stellen der ſtärkſten Bewegung mehr als in der Nachbarſchaft der Knotenlinien. Bei dem Abwärtsgehen der ſchwingenden Theile kann aber die Luft nicht ſo ſchnell den Raum über den Stellen der ſtärkſten Bewe-

gung ausfüllen, als dieß bei den Knoten der Fall iſt; es entſtehen daher von dem Knoten aus zwei entgegengeſetzte Luftſtröme zu den Stellen der ſtärkſten Bewegung hin, führen den feinen Staub mit ſich und laſſen ihn an dieſen liegen. Die Richtigkeit dieſer Anſicht beweiſet der Umſtand, daß in ſtark verdünnter Luft ſelbſt der feinſte Staub nach den Knotenlinien wandert. Einen ähnlichen Grund haben die im Sonnenlichte beſonders deutlich hervortretenden Kräuſelungen, in welche eine auf einer ſchwingenden Platte befindliche tropfbare Flüſſigkeit geräth. (Faraday in Pogg. Ann. 26, 193, und Strehlke in Dove's Repertorium 3, 124.)

394. Die Schwingungen gekrümmter Tafeln, z. B. der Glocken, ſind ganz denen ähnlich, welche bei ebenen Flächen bemerkt werden. Eine Glocke theilt ſich beim Schwingen in eine gerade, größere oder kleinere Anzahl Theile, die zugleich mit dem Ganzen ſchwingen. Daher hört man bei einer Glocke außer dem eigenthümlichen, tiefſten Tone mehrere höhere, ja man kann ihr jeden dieſer Nebentöne für ſich entlocken, wenn man ſie an einem oder an zwei Puncten, wohin eine Knotenlinie fällt, ſanft hält, und die Mitte mit einem Bogen in der Richtung des Durchmeſſers ſtreicht. Iſt ſie dabei mit Waſſer gefüllt oder mit angefeuchtetem Sande bedeckt; ſo werden die Knotenlinien durch das Kräuſeln des Waſſers oder durch die Anhäufung des Sandes ſichtbar. Durch das letztere Mittel kann man die ruhenden Stellen der äußeren und inneren Fläche zugleich ſichtbar machen, und ſich überzeugen, daß eine Knotenlinie der einen Fläche zwiſchen zwei Knotenlinien der anderen falle.

395. An Platten von beſonders ſymmetriſchem Baue, wie z. B. an kreisrunden Scheiben, an Glocken und Ringen, können die Knotenlinien, der Größe der ſchwingenden Theile und der Tonhöhe unbeſchadet, ihren Ort ändern. Man kann eine ſolche Bewegung der Knotenlinien wirklich hervorbringen, wenn man die Platte durch einen raſchen Bogenſtrich in Schwingungen verſetzt, den Bogen ſchnell zurückzieht, wieder einen Strich anbringt ꝛc. und ſo mehrmal hinter einander verfährt. Je ſchneller man ſtreicht und den Bogen wieder zurückzieht, deſto ſchneller rücken die Knotenlinien fort. Wiederholt man daſſelbe Verfahren, ſobald dieſe Linie in Ruhe gekommen iſt; ſo kann man ſie neuerdings zum Weiterrücken bringen, und ſie in einem ganzen Kreiſe herumführen. Erfolgen die Schwingungen langſam, ſo kann man dieſes Weiterſchreiten durch Lycopodium ſichtbar machen; bei ſchnellen Schwingungen hingegen ſieht man es nur, wenn man Sonnenlicht auf die Scheibe fallen läßt, und das Bild der Sonne beim Schwingen derſelben betrachtet. Auf einer kreisförmigen, runden Scheibe erſcheint dieſes oval, beim Schwingen aber (falls eine ſternförmige Klangfigur entſteht) ſternförmig, und wenn die Schwingungsknoten weiter rücken, ſo nimmt auch dieſer Stern eine kreisförmige Bewegung an. (Savart in Zeitſchr. 4. 109.)

396. Die bisher betrachteten Schwingungen tönender Körper ſind nicht bloß wegen ihrer akuſtiſchen Beziehung intereſſant, ſondern auch

darum, weil ſie uns ein ſehr leicht anwendbares und genaues Mittel darbieten, die Größe und Vertheilung der Elaſticität in einem Körper zu erkennen. Schneidet man von einem Körper nach verſchiedenen Richtungen parallelepipediſche Stäbe von gleichen Dimenſionen, und verſetzt ſie auf einerlei Weiſe in Schwingungen; ſo kann man aus der Tonhöhe bei einerlei Abtheilungsart der Stäbe auf ihre Schwingungsanzahl und daraus auf ihre Elaſticität ſchließen. Schneidet man von einem Körper gleichförmig dicke Kreisſcheiben und verſetzt ſie in Schwingungen, bei welchen eine aus diametralen Linien beſtehende Klangfigur entſteht; ſo müſſen dieſe Linien jede Richtung annehmen können, wenn die Scheibe allenthalben gleich elaſtiſch iſt. Nehmen jene Linien nicht jede Lage an, ſo beſitzet die Scheibe nicht allenthalben einerlei Elaſticität, aber man wird die Stellen der kleinſten und größten Elaſticität und das Geſetz ihrer Anordnung leicht ausfindig machen können. Durch dieſes Mittel erkannte Savart, daß Holz, kryſtalliſirte Körper, von denen er beſonders Doppelſpath und Bergkryſtall näher unterſucht hat, nach verſchiedenen Richtungen eine verſchiedene Elaſticität beſitzen.

Eine Scheibe, die ſenkrecht auf die Axe eines knotenfreien, mit vollkommenen Jahrringen verſehenen, cylindriſchen Holzſtammes geſchnitten iſt, hat offenbar parallel mit der Axe (und mit den Faſern des Holzes) eine andere Elaſticität, als in einer darauf ſenkrechten Ebene, und ſelbſt in dieſer Ebene kann die Elaſticität nach verſchiedenen Richtungen verſchieden ſeyn. Savart fand ſie mittelſt Stäben aus einem Buchenſtamme in einer auf die Faſern ſenkrechten Ebene nach einer Richtung = 1, nach einer darauf ſenkrechten = 2,25, in der Richtung der Faſern hingegen = 16. Macht man auf einer kreisförmigen, gleichförmig dicken Metallſcheibe, auf welcher eine diametrale Knotenlinie jede Richtung annehmen kann, mit einer Säge parallele Einſchnitte, und ſchwächt dadurch nach der Richtung derſelben ihre Elaſticität; ſo kann eine aus zwei auf einander ſenkrechten Durchmeſſern beſtehende Klangfigur auf ihr nicht mehr jede beliebige Lage annehmen, ſondern es iſt immer eine Knotenlinie mit den Einſchnitten parallel, eine andere darauf ſenkrecht, und will man mit Gewalt dieſe Knotenlinie an einer anderen Stelle erzwingen, ſo gehen die Durchmeſſer in hyperboliſche Curven über. Demnach zeigen dieſe Durchmeſſer an ungleichförmig elaſtiſchen Platten immer die Stellen an, wo die Elaſticität am größten oder am kleinſten iſt. Eine Holzſcheibe ſenkrecht auf die Faſern geſchnitten, hat meiſtens an jeder Stelle eine Klangfigur mit diametraler Knotenlinie, iſt alſo rings um das Centrum der Jahrringe gleich elaſtiſch; eine ſchief gegen die Faſern oder mit ihnen parallel geſchnittene thut dieſes nicht, iſt alſo auch nicht gleichförmig elaſtiſch. Platten aus Bergkryſtall, ſenkrecht auf die Hauptaxe des Kryſtalls geſchnitten, erſcheinen rings um die Axe gleich elaſtiſch, aber die der Axe parallelen Flächen haben ungleiche Elaſticitäten, wie auch eine ſchief gegen die Axe geſchnittene Doppelſpath ſtimmt faſt ganz mit dem Bergkryſtall überein, und nur darin beſteht zwiſchen beiden ein weſentlicher Unterſchied, daß die kleine Diagonale der Rhomboederfläche beim Bergkryſtalle die Axe der größeren, beim Kalkſpath aber die der kleineren Elaſticität iſt. (Savart in Pogg. Ann. 16. 206.)

397. Ein elaſtiſcher Körper kann nicht bloß in der atm. Luft, ſondern auch in jedem anderen Gaſe, ja ſogar in tropfbaren Flüſſigkeiten,

wie z. B. in Weingeiſt, in Oehl, in Queckſilber ꝛc. oſcilliren. Man erregt Schwingungen in letzteren mittelſt eines Glasſtabes, welchen man an den in Oſcillationen zu verſetzenden Körper ſo ankittet, daß ein Theil davon aus der Flüſſigkeit herausragt, in die man jenen Körper getaucht hat, und dieſen Stab ſtreicht. Bei Verſuchen dieſer Art hat man erfahren, daß das Mittel durch ſeine Trägheit und ſeinen Widerſtand auf die Schnelligkeit der Schwingungen, mithin auch auf die Tonhöhe Einfluß hat, welcher um ſo größer ausfällt, je größer die in Bewegung geſetzte Maſſe des Mittels iſt. Daher erfolgen longitudinale Schwingungen, welche das Mittel nur wenig in Anſpruch nehmen, faſt in allen Flüſſigkeiten auf gleiche Weiſe, und die Tonhöhe erleidet in denſelben keine merkliche Veränderung, während transverſale Schwingungen von dem Mittel, worin ſie Statt finden, in hohem Grade abhängen, und bei übrigens gleichen Umſtänden von deſto tieferen Tönen begleitet ſind, je dichter das Mittel iſt. Uebrigens bilden ſich in jedem Mittel, ſelbſt wenn es tropfbar flüſſig iſt, am tönenden Körper bei gehöriger Behandlung Klangfiguren, und man kann ſie eben ſo wie bei Schwingungen, die in der Luft vor ſich gehen, durch Sand, den man durch die Flüſſigkeit auf den tönenden Körper gelangen läßt, ſichtbar machen. Doch ſind nicht alle Figuren, die ſich auf ſolche Weiſe zeigen, wahre Klangfiguren, d. h. ſolche, die aus Linien beſtehen, welche Knotenlinien bezeichnen, ſondern manche derſelben werden durch die Bewegung des Mittels bedingt, worin die Bewegung erfolgt. (Vergl. 393).

398. Stehende Longitudinalſchwingungen der Luft, welche jenen der Stäbe ganz analog ſind, finden bei dem Tönen der Blasinſtrumente Statt, denn die Luft dient hiebei als tönender Körper. Dieß folgt ſchon aus dem Umſtande, daß genannte Inſtrumente ſo lange denſelben Ton geben, als die darin enthaltene Luftſäule dieſelben Dimenſionen und dieſelbe Temperatur hat, ſie mögen aus was immer für einem Materiale beſtehen. Daß die Bewegung der Luft auf die Wände wirken und von dieſen wieder eine Rückwirkung auf die Luft erfolgen muß, und daß dieſe Rückwirkung von der Natur und Dicke der Wände abhängen kann, iſt für ſich klar; doch wird dadurch nur die Qualität und Stärke des Tones modificirt, und dieſer Umſtand kann durchaus nicht als Beweis angeſehen werden, daß die Wände den tönenden Körper abgeben. (Pelliſov in Schweigg. J. 67. 169, 227; 69. 289.) Schwingungen der Luft in einer Röhre werden erregt, indem man 1) die eingeſchloſſene Luftſäule an einem Ende durch Hineinblaſen verdichtet, wie dieſes bei Waldhörnern, Trompeten ꝛc. geſchieht. 2) Einen ſchmalen Luftſtrom vorbeiſtreichen läßt. Dieſes thut man in jenen Orgelpfeifen, die man Flötenwerke nennt, auch beim Hineinblaſen in einen Schlüſſel, in eine Flöte ꝛc. 3) Durch einen Luftſtrom, den man durch eine Spalte bläſt, ein elaſtiſches Plättchen in Schwingungen verſetzt, das nun die Oeffnung abwechſelnd herſtellt und ſchließt, und ſo regelmäßig auf einander folgende Stöße auf die Luft in der Pfeiſe ausübet. Dieſes iſt bei den Rohr-

20*

werkpfeifen der Orgeln und bei den Blasinſtrumenten, welche Mundſtücke haben, der Fall. Durch eine ſolche Reihe regelmäßig auf einander folgender Stöße wird auch der Ton in der ſogenannten chemiſchen Harmonica erregt, und jener, den ſtark erhitzte, Feuchtigkeit enthaltende Glasröhren beim Abkühlen geben (Pogg. Ann. 42, 610). 4) Indem man einen ſchon ſchwingenden Körper auf die Luft wirken läßt. So wird eine Orgelpfeife zum Anſprechen gebracht, wenn man eine ſchwingende Stimmgabel, die nahe den Ton der Pfeife gibt, vor ihre Mündung hält. In allen dieſen Fällen wird eine große Anzahl Luftwellen hinter einander hervorgerufen; haben dieſelben eine Länge, welche mit jener der Röhre, worin die zum Tönen zu bringende Luft enthalten iſt, in einem ſchicklichen Verhältniſſe ſteht, ſo kommt die Interferenz der directen mit den reflectirten Wellen, worauf die Bildung der ſtehenden Oſcillation beruht, wirklich zu Stande. Der Erfolg iſt jedoch verſchieden, je nachdem die Röhre beiderſeits offen, oder an einem Ende mehr oder weniger geſchloſſen (gedeckt) iſt, und richtet ſich überdieß nach der Geſtalt und den Dimenſionen der Röhre, nach der Beſchaffenheit ihrer Wände, nach der Temperatur und Natur der Luft, nach der Größe und Lage des Mundloches, und nach der Art des Anblaſens.

399. Wenn man eine beiderſeits offene, und eine gleich lange an einem Ende geſchloſſene, prismatiſche oder cylindriſche Pfeife, deren Durchmeſſer bedeutend kleiner iſt als ihre Länge, durch einen Luftſtrom zum Tönen bringt, ſo findet man, daß nach Beſchaffenheit des ſtärkeren oder ſchwächeren Anblaſens jede dieſer Pfeifen mehrere Töne geben kann, und zwar, daß dieſe Töne nach ihrer Höhe geordnet, der natürlichen Zahlenreihe 1, 2, 3, 4, 5 ꝛc. entſprechen, wovon die ungeraden Glieder der geſchloſſenen und die geraden der offenen Pfeife zugehören. Die Töne einer offenen prismatiſchen oder cylindriſchen Pfeife verhalten ſich daher unter einander ſelbſt wie die natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4 ꝛc. Haben zwei Pfeifen verſchiedene Länge, und iſt dieſe bei jeder viele Male größer als die Dimenſionen ihres Querſchnittes, ſo verhalten ſich Töne desſelben Ranges verkehrt wie die Pfeifenlängen. Verſuche, welche dieſes beſtätigen, macht man leicht mit einer Flöten-Orgelpfeife, die man ſowohl offen, wie auch an dem Ende mit einer ebenen Wand geſchloſſen gebraucht. Die Töne einer einfachen Trompete gehören hieher, und es kann auch die Röhre gekrümmt ſeyn, wie es bei dem Poſthorn der Fall iſt. Dieſe Töne erklärt man ganz gut aus der Bildung ſtehender Longitudinalſchwingungen durch Interferenz der an dem Ende der Röhre reflectirten Wellen mit den directen; ſie entſtehen ſonach auf ähnliche Weiſe wie die Longitudinaltöne elaſtiſcher Stäbe. Da aber in beiden Fällen nicht genau dieſelbe Anordnung der Schwingungsknoten Statt findet, ſo gibt eine Erklärungsweiſe, die zwiſchen dem, was an elaſtiſchen Stäben und in einer Luftſäule vorgeht, gar keinen Unterſchied macht, nicht genaue, ſondern nur angenäherte Reſultate, insbeſondere bezüglich der offenen Röhren. Eine Theorie dieſer Phänomene, die auf

Genauigkeit Anſpruch machen will, darf nicht außer Acht laſſen, daß die größere oder geringere Beweglichkeit der Körpertheile, woran die Reflexion einer Luftwelle vor ſich geht, auf dieſe Welle einen bedeutenden Einfluß ausübt, und letztere an dem offenen Ende der Röhre, wenn die Länge der Welle unveränderlich gegeben iſt, z. B. wenn ſie ſtatt des Anblaſens durch die Schwingungen einer elaſtiſchen Platte erzeugt wird, eine Verzögerung erleidet, wodurch eine veränderte Stellung der Schwingungsknoten gegen das freie Ende entſteht, oder, falls die Erzeugung der Wellen durch einen Luftſtrom erfolgt, durch Rückwirkung auf dieſen die Wellenlänge ſelbſt abgeändert wird, alſo eine ganz andere Tonreihe ſich bildet. In der That erniedrigt die geringſte Verengung des offenen Endes einer tönenden Pfeife den Ton derſelben merklich, während die Wegnahme des Randes an dem Ende eines elaſtiſchen Stabes auf die Höhe ſeiner Longitudinaltöne keinen merklichen Einfluß hat.

Die Einrichtung einer Flöten-Orgelpfeife iſt aus Fig. 184 a und b zu erſehen; a ſtellt eine ſolche perſpectiviſch, b im Längendurchſchnitte vor. Sie beſteht aus zwei Theilen, nämlich aus dem coniſchen unteren Theile A B C (dem Stiefel oder Windrohre) der unten offen, oben mittelſt einer Querplatte B C bis auf eine enge Spalte in der Nähe des etwas hineingebogenen Randes (der Lefze) geſchloſſen iſt, und aus der eigentlichen Pfeife B C D E, deren unterer, in der Nähe von B befindlicher Rand auch ein wenig eingebogen iſt, und ebenfalls eine Lefze bildet; zwiſchen den beiden Lefzen iſt ein Einſchnitt. Die Luft wird durch A in den Stiefel geblaſen, bricht ſich in B, dringt durch die viereckige Oeffnung heraus, und erregt ſo in der Pfeife Schwingungen. Mit Leichtigkeit entſteht hiedurch nur eine gewiſſe Folge von Tönen, nämlich die durch die oben genannte Reihe beſtimmten, und ein Gleiches gilt auch von den Blasinſtrumenten, welche mit den Flöten-Orgelpfeifen in Hinſicht der Tonbildung übereinſtimmen. Um daher eine Mannigfaltigkeit von Tönen zu erhalten, wie ſelbe die chromatiſche Tonleiter fordert, ändert man theils die Länge der Pfeife entweder durch verſchiedene Aufſätze (Waldhorn, Trompete), oder mit Hülfe eines verſchiebbaren Theiles (Poſaune), theils modificirt man durch Oeffnen und Verſchließen von Seitenlöchern die Länge der vibrirenden Luftſäule (Flöte, Klappentrompete), theils verengt man die Mündung der Röhre mehr oder weniger. Aus Letzterem erklärt ſich der Kunſtgriff der Waldhorniſten, mit der Hand am Trichter des Inſtrumentes den Ton etwas zu ändern, und das Stimmen einer Orgelpfeife durch Neigung einer bleiernen, auf ein Ende aufgeſetzten Platte. Kegelförmige oder pyramidale, offene Pfeifen geben, wenn man ſie an der engeren Seite anbläſt, wohl auch einen höheren Ton, als einerſeits geſchloſſene von denſelben Dimenſionen; jedoch hängt es von dem Neigungswinkel der Seitenflächen ab, um wie viel der Ton in erſteren höher iſt als in letzteren. Je größer dieſer Winkel iſt, deſto mehr Intervalle liegen zwiſchen dem Grundtone einer offenen und dem einer geſchloſſenen Pfeife, In der Regel betragen ſie mehr als eine Octave, können aber auch drei und mehr Octaven betragen.

400. Verſuche über die Anordnung der Schwingungsknoten der in einer Röhre vibrirenden Luft macht man nach Hopkins am einfachſten, wenn man eine $1^1/_2$ Zoll weite Glasröhre, die mit einem Aus-

zugrohre von Pappe oder Meſſing verſehen iſt, vertical befeſtiget, nahe unter ihr eine Glasplatte, durch deren Schwingungen die Luft in der Röhre in ſchwingende Bewegung verſetzt wird, anbringt, jedoch ſo, daß keine Knotenlinie unter der Mündung der Röhre vorbeigeht, dann einen mit einer zarten Membrane überzogenen Metallrahmen mittelſt eines dünnen Drahtes oder Fadens in die Röhre nach Bedürfniß einſenkt (Fig. 185). Die Membrane wird mit feinem trockenen Sande beſtreut, deſſen Bewegung oder Ruhe auf jene der Luft in der Röhre ſchließen läßt. Um die Membrane zu ſolchen Anzeigen nach Belieben empfindlich zu machen, muß der Rahmen geſtatten, ſie mehr oder weniger zu ſpannen, oder die Länge ihres ſchwingenden Theiles zu verändern, und dergeſtalt die Membrane zu ſtimmen. Je näher ihre eigenen Schwingungen mit jenen der Luft, deren Bewegung ſie anzeigen ſoll, harmoniren, deſto genauer gibt ſie den Zuſtand der Bewegung an verſchiedenen Orten in der Röhre an. Hiernach iſt es klar, wie man die Orte der ſtärkſten Bewegung und die Knotenflächen erkennt. Folgendes ſind die Ergebniſſe ſolcher Verſuche: 1) Die Knoten ſind nicht Orte völliger Ruhe der Luft, ſondern Orte kleinſter Schwingung, und dieſe iſt an den Knoten geſchloſſener Röhren beträchtlicher. 2) Die Entfernungen je zweier benachbarten Knoten ſind einander gleich und entſprechen genau der Hälfte des Weges den der Schall in der Luft während einer Schwingung der erregenden Platte zurücklegt. Nennt man dieſen Weg l (Wellenlänge), ſo iſt jene Entfernung $= \frac{1}{2}$ l. 3) Der Abſtand des letzten Knotens von dem Ende einer offenen Röhre iſt namhaft kleiner, als $\frac{1}{4}$ l; der Unterſchied zwiſchen beiden oder die Verſchiebung der Knoten nimmt bei einer und derſelben Röhre zu, wenn l vergrößert wird; bei verſchiedenen Röhren von gleicher Weite zeigt ſie ſich bei einerlei l conſtant; in engeren Röhren fällt ſie jedoch geringer aus als in weiteren. Hopkins fand für eine Röhre von 1,35 engl. Zoll Durchmeſſer bei den Werthen $\frac{1}{2}$ l = 2,044; 3,994; 4,82 Zoll, die Verſchiebung der Knoten = 0,365; 0,47; 0,59: für eine Röhre von 0,8 Z. Durchmeſſer hingegen erhielt er in den zwei erſten Fällen nur die Verſchiebungen 0,08 und 0,1. 4) In einer geſchloſſenen Röhre iſt der Abſtand des letzten Knotens von dem Ende um ein Geringes größer als $\frac{1}{4}$ l. 5) Die Intenſität der Schwingung iſt am größten bei einer offenen Röhre, wenn deren Länge etwas kleiner iſt, als ein gerades Vielfaches von $\frac{1}{4}$ l; ändert ſich die Länge der Röhre, ſo nimmt die Intenſität der Schwingung ab, und wird am kleinſten, wenn ſich die Länge der Röhre einem ungeraden Vielfachen von $\frac{1}{4}$ l nähert. Für eine geſchloſſene Röhre gilt das Umgekehrte. Es können daher in einer Röhre tönende Schwingungen von jeder Höhe zu Stande kommen, wenn ſie ihr durch einen ſelbſtſtändig ſchwingenden Körper aufgedrungen werden. Der Grund hievon liegt augenſcheinlich in der Theilnahme der äußeren Luft an der Geſtaltung der an ihr reflectirten Wellen. Hiernach erhellet die Unhaltbarkeit der älteren von Dan. Bernoulli und Euler gegebenen Theorie der ſtehenden Schwingungen der Luft in Röhren, wobei der erwähnte Einfluß der reflec-

tirenden Subſtanz außer Acht gelaſſen wird, und ſelbſt die von Poiſſon an dieſer Theorie angebrachten Modificationen reichen nicht aus, ſondern man iſt zu anderen Vorausſetzungen genöthigt, wie ſelbe neueſtens von Hopkins, wie es ſcheint, mit Glück verſucht worden ſind. (Poiſſon in *Mém. de l'Acad. II.* Hopkins in Pogg. Ann. 44. 256; im Auszuge in Dove's Repert. 3. 55.)

401. Gedeckte Flöten-Orgelpfeifen, deren Höhe von den Dimenſionen ihres Querſchnittes nicht viel abweicht, geben, wenn ſie ähnliche Geſtalten haben, Töne, deren Werthe mit den homologen Dimenſionen der Pfeifen in verkehrtem Verhältniſſe ſtehen. Bei parallelepipediſchen Pfeifen dieſer Art bemerkt man, daß ſie bei jeder Breite nahe denſelben Ton geben, wenn die Flächenräume der auf dieſe Dimenſion ſenkrechten Durchſchnitte, oder was dasſelbe heißt, die Producte der Höhe mit der Dicke gleich ſind. Vermindert man die Breite einer ſolchen Pfeife und mit ihr die Spalte, ohne an den übrigen Abmeſſungen etwas zu ändern, ſo findet keine Aenderung des Tones Statt. Kurze offene Pfeifen und ſolche, wo die Luftmaſſe an der Mündung nur zum Theil erſchüttert iſt, geben nach Verſchiedenheit des Anblaſens und nach der Größe und Lage des Mundloches ſehr verſchiedene Töne. Man kann bloß durch Modification des Luftſtromes alle Töne innerhalb $1\frac{1}{2}$ — 2 Octaven hervorbringen. Dieſes zeigt ſich beſonders an jenem kleinen Inſtrumente, womit die Jäger die Stimmen verſchiedener Thiere nachahmen, welches aus einer 8 — 9 L. weiten, 4 L. hohen, hölzernen oder beinernen Röhre beſteht, die an beiden Enden mit ebenen Platten geſchloſſen, in der Mitte mit einem kleinen Loche verſehen iſt. Dieſes Inſtrument wird zwiſchen die Lippen genommen und gibt, je nachdem man ſtärker oder ſchwächer bläſt, eine große Mannigfaltigkeit von Tönen. Man kann ſeine Größe und Geſtalt auf vielfache Weiſe abändern, ohne eine andere Modification in der Wirkung des Inſtrumentes hervorzubringen, als die, daß ſich bei einem größeren Volum desſelben tiefe Töne leichter hervorbringen laſſen, als höhere. Im Allgemeinen iſt der tiefſte Ton deſto tiefer, je weiter die Oeffnung iſt. Auf den Ton kurzer und weiter Pfeifen hat auch die Beſchaffenheit der Wände einen ſehr großen Einfluß. Sind dieſe einer verſchiedenen Spannung fähig, ſo wird der Ton deſto tiefer, je geringer dieſe Spannung iſt. Demnach müſſen kurze und zugleich weite, kegelförmige oder pyramidale Pfeifen mit veränderlichem Neigungswinkel und mit elaſtiſchen Wänden den größten Tonumfang haben.

402. Eine Zungenpfeife iſt ein aus zwei ſchwingenden Körpern, der Luftſäule und der elaſtiſchen Platte, beſtehendes Inſtrument; ſeine Tonhöhe muß demnach auch durch die Schwingungen dieſer beiden Beſtandtheile beſtimmt werden, welche durch ihre Verbindung von einander abhängig geworden ſind und ſich gegenſeitig dahin abändern, daß ſie gleichzeitig ſchwingen. Die Tonhöhe einer ſolchen Pfeife hängt demnach von der Elaſticität und den Dimenſionen des Plättchens und von der Länge der ſchwingenden Luftſäule ab. Ein voller und ſtarker Ton einer ſolchen Pfeife wird bloß von den auf das Plätt-

chen wirkenden Luftſtößen hervorgebracht, und ſeine Höhe wird faſt ganz allein durch die Schwingungen des Plättchens beſtimmt; denn dieſe Höhe ändert ſich nur ſehr wenig, wenn man die ſchwingende Luftſäule ganz wegnimmt, wie dieſes bei der ſogenannten Physharmonica der Fall iſt. Setzt man an das Mundſtück eine offene Röhre an, deren Luftſäule mit dem Plättchen im Einklange tönt, und deren Länge = a iſt, ſo wird dadurch der Ton um eine Octave tiefer. Nimmt man die Luftſäule anfangs kürzer als $^1/_4$a und läßt ſie allmälig bis a wachſen, ſo ändert ſich die Tonhöhe in der erſten Hälfte der Verlängerung nur ſehr wenig, in der zweiten aber bedeutend, im Ganzen um eine Octave. Hiemit iſt aber auch gewöhnlich die Tonreihe, welche man durch allmäliges Verlängern der Luftſäule hervorbringen kann, geſchloſſen. Geht dieſe Verlängerung über die angegebene Grenze hinaus, ſo ſpringt der Ton plötzlich wieder auf den erſten zurück, und dieſer wird nur durch abermaliges Verlängern der Luftſäule tiefer. Wird die Luftſäule von a auf 2 a, 3 a ꝛc. verlängert, ſo ſinkt der Ton um eine Quart, um eine kleine Terz u. ſ. f. Es machen demnach die Zunge und die Luftſäule immer nur ein ſchwingendes Syſtem aus. (Weber in Pogg. Ann. 14. 397; 16. 193; 16. 415.)

Eine Zungenpfeife, auch Rohrwerkpfeife genannt (Fig. 186), beſteht aus einem Fuße A B C, durch welchen die Luft eingeblaſen wird, und über welchem die eigentliche Pfeife ruht, die durch einen Stöpſel vom Fuße getrennt iſt. Die Communication zwiſchen beiden iſt aber nicht bloß, wie bei einer Flötenwerkspfeife, durch eine einfache feine Spalte hergeſtellt, ſondern durch eine hölzerne Rinne a b, welche durch den Stöpſel geht, und im Fuße mit einem elaſtiſchen Metallplättchen (Zunge) geſchloſſen iſt, das die Rinne mehr oder weniger ſchließt, je nachdem man die Krücke c weiter hinabdrückt oder hinaufzieht. Die ſogenannten Mundſtücke mancher Blasinſtrumente ſind wie eine ſolche Pfeife eingerichtet. An einigen wird das Plättchen ſebſt in den Mund genommen, wie bei den Clarinetten, und dieſe verdienen im eigentlichen Sinne Mundſtücke genannt zu werden.

403. Der Ton einer Pfeife iſt bei übrigens gleichen Umſtänden deſto höher, je größer die Ausdehnſamkeit der Luft im Vergleiche gegen ihre Dichte iſt. Deßhalb gibt eine Pfeife, die mit Waſſerſtoffgas anſpricht, einen höheren Ton als eine mit atmoſphäriſcher Luft, und eben deßhalb iſt der Ton einer Pfeife in warmer Luft höher als in kalter; darum erhöht ſich der Ton während des Anblaſens mit dem Munde. Auf hohen Bergen gibt eine Pfeife keinen tieferen oder höheren Ton als bei gleicher Temperatur an der Meeresfläche.

Die Tonhöhe in Pfeifen von gleichen Dimenſionen, die in verſchiedenen Luftarten anſprechen, hat man zur Vergleichung der Geſchwindigkeit des Schalles in dieſen Luftarten benützt, indem man von dieſen Tonhöhen auf die Anzahl der Schwingungen während einer Secunde ſchloß, und das Verhältniß dieſer, vorausgeſetzt, daß die Pfeifen Töne von derſelben Ordnung geben, z. B. jede ihren tiefſten Ton, als das Verhältniß der Fortpflanzungsgeſchwindigkeiten der ſchwingenden Bewegung in genannten Medien betrachtete (vergl. 386 Anm.). Aus dem Vorhergehenden erhellet, mit welchen Vorſichten dieſes Verfahren zu

gebrauchen ſey. Ueber die Anwendung der Verſchiedenheit des Tones einer Pfeiſe bei verſchiedenen Temperaturen zu pyrometriſchen Beſtimmungen (akuſtiſches Pyrometer) ſ. Pogg. Ann. 39. 580.

404. Die Inſtrumente, in welchen die Luft der tönende Körper iſt, haben das Eigene, daß ſie nicht wie Saiteninſtrumente nachklingen, ſondern zu tönen aufhören, ſobald die den Schall erregende Urſache aufhört zu wirken. Die Urſache liegt darin, daß die am offenen oder gedeckten Ende der Pfeiſe zurückgeworfene Welle ſtets ſchwächer iſt als die auffallende, von der ſie abhängt, daher ſie nach wenigen Reflexionen nicht mehr die zur Wahrnehmung eines Schalles nöthige Intenſität hat.

405. Da die Schwingungen der Luftſäule in einer Röhre im Grunde auf der Fortpflanzung der vibrirenden Bewegung eines Körpers längs der Luftſäule beruhen, ſo entſteht, wenn dieſe Luftſäule genöthiget wird, gleichzeitig zwei verſchiedene Schwingungsweiſen fortzupflanzen, ein Interferenzphänomen. Sind die fortzupflanzenden Wellen gleich lang und gleich ſtark, und fallen correſpondirende Phaſen derſelben an einerlei Stelle, ſo verſtärken ſie ſich; kommen gerade entgegengeſetzte Phaſen zuſammen, ſo tritt Aufhebung der Bewegung ein, und alle Fortpflanzung wird vernichtet. Hiedurch erklärt es ſich, wie zwei verſchiedene für ſich allein kräftige Schalläußerungen in einer und derſelben Luftſäule ſich wechſelſeitig tilgen können.

Hält man daher eine Röhre, welche durch eine vibrirende Platte leicht zum Anſprechen gebracht wird, über eine Knotenlinie derſelben, ſo daß dieſe mitten quer unter der Mündung der Röhre weggeht, ſo ſinkt die Intenſität des Schalles gewaltig herab. Denn die an eine Knotenlinie grenzenden Theile der Platte ſind ſtets in entgegengeſetzten Bewegungszuſtänden, welche ſie der Luftſäule mittheilen. Noch beſſer dient eine Röhre, die oben mit einer Membrane geſchloſſen iſt, und unten in zwei gleiche divergirende Schenkel ausgeht (Fig. 187). Hält man die Röhre über eine vibrirende Platte, ſo daß beide Schenkel über Theilen der Platte ſtehen, die ſich in gleichen Bewegungszuſtänden befinden, z. B. über a und b, ſo kommt der auf die Membran geſtreute Sand, vorausgeſetzt, daß die Röhre die ſchickliche Länge hat, in heftige Bewegung; ändert man aber die Stellung der Röhre, ſo daß ihre Schenkel über a und c ſtehen, an welchen Orten die Theile der Platte gleichzeitig entgegengeſetzte Bewegungen machen, ſo bleibt der Sand in Ruhe. Dieſer Verſuch läßt ſich noch auf mannigfaltige Art abändern. Eine lehrreiche Abänderung iſt folgende: Man nimmt eine Röhre, welche zwei rechtwinklige Biegungen macht, ſo daß ſie zwei parallele gleichlange Schenkel hat, die durch ein Querſtück verbunden ſind (Fig. 188). In der Mitte des letzteren bei m iſt eine Platte von der Form p eingefügt, durch deren Verſchiebung man nach Gefallen die Communication der beiden Theile der Röhre abſchließen oder öffnen kann. Thut man das erſte und hält die Mündungen beider Schenkel über die Stellen a und c der vibrirenden Platte, ſo hört man das Tönen der Luft in der Röhre ſehr ſtark, vorausgeſetzt, daß die Röhrenlänge gut zur Platte paßt. Gibt man aber der Scheidewand eine ſolche Stellung, daß beide Schenkel mit einander in Communication kommen, ſo hört das Tönen ſogleich auf. Im erſten Falle wird die Einwirkung der entgegengeſetzten Wellen auf einander gehindert, im andern Falle findet ſie Statt.

406. In die Klaſſe derjenigen Inſtrumente, in denen die Luft als ſchallender Körper wirkt, gehören auch die Stimmorgane der Thiere und des Menſchen. Das Stimmorgan des Menſchen beſteht aus dem Kehlkopfe, dem Schlunde und dem Munde. Die Lunge dient als Blasbalg, die Luftröhre als Windrohr. Der Kehlkopf iſt eine aus Knorpeln und Häuten gebildete Erweiterung des oberen Theiles der Luftröhre, über deren oberer Mündung zwei, einem Kreisabſchnitte ähnliche Häute, die Stimmbänder, ſo angebracht ſind, daß ſie die Luftröhre bis auf eine ſchmale Spalte, die Stimmritze, ſchließen können. Dieſe Bänder können geſpannt und nachgelaſſen werden, ſo daß ſich die Stimmritze verengen und erweitern kann. Geht die Luft aus den Lungen ohne Gewalt durch die weit offene Stimmritze, ſo erfolgt kein Laut; wird aber aus den Lungen die Luft mit Gewalt ausgeſtoßen, ſo entſteht wohl ein Schall, aber kein Ton; das Huſten erfolgt auf dieſe Weiſe. Wird endlich die Stimmritze verengt und die Luft mit Gewalt durch ſie getrieben, dergeſtalt, daß ſie eine Zuſammendrückung erleidet (nach Cagnard-Latour beim gewöhnlichen Sprechen von nahe 5 Zoll, beim leiſen Sprechen von 1 Zoll Waſſerdruckhöhe), ſo erſcheint erſt der gehörige Ton. Die Luft ſchwingt im Stimmorgane, wie in einer coniſchen Zungenpfeife; doch gibt eine ſolche nur dann einen der menſchlichen Stimme ähnlichen Laut, wenn die Zunge beim Schwingen nicht auf den Rand der Rinne, welche ſie abwechſelnd öffnet und ſchließt, ſchlägt, ſondern ohne anzuſtoßen ein- und auswärts oſcilliren kann (Willis in Pogg. Ann. 24. 397). Ungeachtet des geringen Rauminhaltes iſt doch das Stimmorgan vieler Töne fähig, weil ſein unterer Theil elaſtiſche Wände hat, die eine verſchiedene Spannung annehmen können, weil durch größeres oder geringeres Oeffnen des Mundes die Dimenſionen der Luftſäule bedeutend abgeändert werden können; endlich weil ſich der Stimmapparat mittelſt der Lippen bald ſchließen, bald öffnen läßt, und daher bald wie eine offene, bald wie eine geſchloſſene Pfeife wirkt. Die Wölbung des Schlundes und des Mundes, die verſchiedene Biegung der Zunge, und vorzüglich zwei am oberen Theile des Kehlkopfes frei in der ſchwingenden Luft hängende Häutchen bewirken die verſchiedene Articulation der menſchlichen Stimme. Unter den Thieren haben nur Vögel, Säugethiere und Amphibien eigentliche Stimmorgane. Die Vögel haben den Kehlkopf am unteren Theile der Luftröhre, einige derſelben haben auch die hängenden Membranen, die man im menſchlichen Stimmorgane findet; das Stimmorgan einiger Thiere beſteht nur aus einer paukenähnlichen Vorrichtung. (Savart in Zeitſchr. 1. 12.)

Schon um das Jahr 1770 haben ſich Kempelen und Kratzenſtein bemüht, Vocallaute künſtlich hervorzubringen, und in der neueſten Zeit haben Willis in England und Faber in Wien dieſe Bemühungen wiederholt, und Letzterer namentlich eine Maſchine conſtruirt, welche nicht nur jeden Buchſtaben des Alphabets, ſondern beliebige Worte vollkommen vernehmlich und ſogar mit einiger Accentuirung hervorbringt, ſo daß die Vollkommenheit der Leiſtung faſt nur durch die Fertigkeit desjenigen bedingt zu ſeyn ſcheint, der die Maſchine in Bewe-

gung ſetzt. Der Bau dieſer Maſchine iſt jedoch bis jetzt noch nicht durch eine Beſchreibung veröffentlicht worden. Willis verband eine mit einer frei ſchwebenden, aber genau ſchließenden Zunge verſehene Röhre mit einem von der Zunge aus trichterförmig ſich erweiternden Raume, und deckte die Mündung deſſelben mit einem darauf verſchiebbaren Brete. Wurde die Röhre zum Anſprechen gebracht und die Trichteröffnung durch Verſchieben des Bretes allmälig vergrößert, ſo entſtanden deutlich die Vocallaute in der Ordnung A, E, I, O, U; ähnliche Wirkungen erhielt er, wenn er Röhre und Zunge in einem gegliederten Kolben anbrachte, der ſich in einem weiteren, dem Kolben genau anpaſſenden Rohre verſchieben ließ, und den Kolben allmälig auszog. (Willis in Pogg. Ann. 24. 397. Dove's Repert. 3. 80.)

407. Die tönenden Schwingungen tropfbarer Flüſſigkeiten ſind noch nicht ſo weit unterſucht, daß ſie einen ſelbſtſtändigen Theil der Akuſtik abgeben könnten. Die dabei Statt findende Bewegung der Molekel ſcheint in einer Ausdehnung und Zuſammenziehung zu beſtehen, welche eine Störung der Continuität der Maſſe und eine Vergrößerung der Poren derſelben hervorbringen. Man erregt ſie durch Reibung einer einerſeits geſchloſſenen, Waſſer oder eine andere tropfbare Flüſſigkeit enthaltenden Röhre. Eine Waſſerſäule von 1 M. Höhe gibt einen Ton, welchem 790 Schwinungen in 1 Sec. entſprechen, doch ändert ſich dieſe Schwingungszahl unter beſonderen Verhältniſſen, wie z. B. mit dem Durchmeſſer und der Länge der Glasröhre. Eine heberförmig gebogene gleichſchenklige Röhre kann ſelbſt beiderſeits offen ſeyn, und die darin enthaltene Waſſerſäule wird doch durch Reiben in tönende Schwingungen verſetzt, was bei einer geraden, beiderſeits offenen nicht zu Stande zu bringen iſt. Iſt die Waſſerſäule im Heber gerade ſo lang wie die in der einerſeits geſchloſſenen Röhre, ſo iſt ihr Ton um 1 Octave höher als jener der letzteren. Verſchiedene Flüſſigkeiten geben bei gleicher Länge der Säulen verſchiedene Töne, es richtet ſich aber die Tonhöhe nicht nach der Dichte der Flüſſigkeiten. Eine 20 Z. hohe Waſſerſäule macht in der Sec. 1478, eine eben ſo hohe Alkoholſäule von 36° B. 1400, eine Säule von Salzſäure 1272, eine von Schwefelſäure (60° B.) 1280, von einer Chlorcalciumlöſung (13° B.) 1488, und von Queckſilber 640 Schwingungen. Auch kann man zur Erregung ſchallender Schwingungen in Waſſer die Syrene benützen, die man in Waſſer verſenkt und durch deren Oeffnungen man aus einem höher geſtellten Behälter mittelſt eines Zuleitungsrohres zur Büchſe des Inſtrumentes unter bedeutendem Drucke Waſſer ſtrömen läßt.

408. Gleichwie der Luft in einer Röhre durch einen in ihrer Nähe vibrirenden Körper Schwingungen aufgedrungen werden, und indem dadurch eine Interferenz directer und reflectirter Wellen beſtimmt wird, dieſe Luftmaſſe die Rolle eines ſelbſtſtändig ſchwingenden Körpers übernimmt und in der umgebenden Luft für ſich Schallwellen erregt; eben ſo kann ſich die ſchwingende Bewegung eines ſchallenden Körpers jedem andern, mit dem er in Berührung ſteht, mittheilen, nicht bloß ſo, daß hiedurch der Schall fortgepflanzt wird, ſondern auch ſo, daß er ſelbſt mitklingt und den Schall verſtärkt.

Die Geſetze dieſer Mittheilung ſind äußerſt wichtig; denn ſie ſpielen bei unſeren Saiteninſtrumenten und überhaupt in allen jenen Fällen, wo es uns um Verſtärkung des urſprünglichen Schalles zu thun iſt, eine große Rolle, und nur durch ihre Kenntniß kann man zu einem ganz ſicheren Verfahren geleitet werden, um ſolche Inſtrumente in möglichſter Güte zu verfertigen, und dabei weniger vom Zufalle abzuhängen, als es bis jetzt leider noch der Fall iſt.

409. Von der Wirklichkeit der Mittheilung von Schwingungen in Körpern von der mannigfaltigſten materiellen Beſchaffenheit und von verſchiedenem Aggregationszuſtande überzeugt man ſich durch mehrere Erfahrungen. Bringt man eine Stimmgabel durch einen Schlag in Bewegung und hält ſie dann frei in der Hand, ſo hört man nur einen äußerſt ſchwachen Ton; ſetzt man ſie aber auf einen Kaſten von dünnem, elaſtiſchen Holze, z. B. auf den oberen Boden einer Violine, ſo erſcheint dieſer Ton viel ſtärker und anhaltender. Es müſſen alſo die Holzfaſern des Kaſtens in Bewegung geſetzt worden ſeyn. Der Ton der ſogenannten Mundharmonica (Maultrommel) iſt außer dem Munde nicht vernehmbar, im Munde hingegen, wo die Luft zum Mittönen gebracht wird, erſcheint er hinreichend ſtark und hörbar. Selbſt eine Stimmgabel tönt viel ſtärker, wenn man ſie vor den Mund oder vor das Mundloch einer Flöte hält. Der Ton einer Orgelpfeife theilt ſich einer geſpannten Membrane durch die Luft mit, und ſetzt darauf geſtreuten Sand in Bewegung. Dieſe Mittheilung findet auch unter einem ganzen Syſteme von Körpern Statt, und es kann auch ein Mittönender einen andern mit ihm verbundenen zum Mittönen bringen. Schlägt man an einem Clavier, in deſſen Nähe eine Violine hängt, mehrere Töne an, ſo vernimmt man deutlich, daß die Violine mitklingt, und daß ſich ihre Saiten, wenn ſie nicht in ihrer ganzen Länge dieſen Ton geben können, in ſolche Theile abtheilen, die dazu geſchickt ſind. Man kitte auf eine kurze Glasſtange zwei kreisförmige Scheiben, ſo daß ihre Flächen auf der Axe der Stange ſenkrecht ſtehen, halte den Stab vertical, und beſtreue beide Scheiben mit feinem trockenen Sande. Entlockt man nun einer dieſer Scheiben einen Ton, ſo ordnet ſich der Sand nach der ihren Schwingungen zugehörigen Klangfigur, allein nicht bloß auf der unmittelbar zum Schwingen gebrachten Scheibe, ſondern auch auf der mit ihr mittelbar verbundenen, und in beiden entſteht dieſelbe Klangfigur. In allen Inſtrumenten, welche Reſonanzböden haben, wird die Luft unter dem Reſonanzboden durch den ſchallenden Körper mittelſt des Bodens in Bewegung geſetzt; beſonders wenn die Saiten in einer gegen den Reſonanzboden ſenkrechten Ebene ſchwingen, wie beim Fortepiano, und man kann die mitgetheilten Schwingungen des Reſonanzbodens mittelſt metallener, gläſerner oder hölzerner Stäbe, die ihn berühren, weit fort leiten, und ſo die Töne der Saiten in Oertern hörbar machen, wohin ſie durch die Luft oder durch Mauern nicht dringen können.

Dieſem Mittönen der Körper iſt es zuzuſchreiben, daß die Stimme eines Menſchen in einem Zimmer ausgiebiger iſt, als im Freien, daß eine Muſik ſich in einem Orte beſſer ausnimmt als in einem andern. Daß

an manchem Plaße einige Töne mehr verſtärkt werden als andere, und daß ſelbſt an neuen muſikaliſchen Inſtrumenten manche Töne vorzüglich voll und rund klingen, kommt daher, daß jeder mitklingende Körper nur jene Töne begleiten kann, die er entweder ſelbſt zu geben im Stande iſt, oder deren Schwingungen ein aliquoter Theil von jenen ſind, welche am mittönenden Körper Statt finden können. (Weber in Schweigg. J. 53. 327. Wheatſtone in Pogg. Ann. 26. 251)

410. Um den inneren Verlauf der Sache beim Entſtehen mittönender Bewegungen einzuſehen, denke man ſich einen begrenzten Körper, z. B. ein dünnes Bret, mit einem tönenden Körper in Berührung. Jeder Stoß, welchen dieſer Körper auf jenes Bret ausübt, erregt in demſelben eine fortſchreitende Welle. Dieſe erweitert ſich bis zum Ende des Bretes, wird daſelbſt in zwei Theile zerlegt, wovon einer in das angrenzende Mittel übergeht und den Schall fortpflanzt; der andere wird reflectirt und erzeugt, indem er directen, durch fernere Stöße von Seite des ſchallenden Körpers erregten Wellen begegnet und ſie durchkreuzt, jene einer ſtehenden gewiſſermaßen analoge Schwingung, in welcher das Mittönen beſteht. Die tactmäßig erfolgenden Stöße, welche dieſes Bret erfährt, zwingen es, auch auf eine Weiſe zu ſchwingen, die ihm im freien Zuſtande ganz fremd iſt. Daher entſtehen wohl auch auf dem mittönenden Körper Knotenlinien und Figuren, aber dieſe Figuren ſind oft von den an ſelbſttönenden Körpern vorhandenen weſentlich verſchieden, und werden Reſonanzfiguren genannt. Dieſe Unterſchiede beſtehen darin, daß die Knotenlinien der Reſonanzfiguren nicht ſo regelmäßig ſind, wie die der Klangfiguren, daß ihre Zwiſchenräume nicht immer aliquote Theile der Größe der ſchwingenden Fläche ſind, daß eine Knotenlinie auch mitten im ſchwingenden Theile enden kann, und endlich, daß die Ruhelinien nicht immer Grenzen ſchwingender Theile ſind, ſondern auch von Bewegungen einzelner Theile herrühren können.

Zwei in einerlei Ebene mit-einander verbundene Kreisſcheiben von einerlei Materie geben die Klangfigur 189, die man auch in jeder Scheibe für ſich unmittelbar erzeugen kann; bei einer geringen Verrückung des Bogens entſteht aber die Fig. 190, deren Hälfte man auf einer einzigen Scheibe nicht hervorbringen kann. In der Regel wird die, einem Körper eigene Schwingungsart durch Verbindung mit einem andern deſto mehr modificirt, je größer die angehängte Maſſe iſt. Dieſes zeigt beſonders folgender Verſuch: Verbindet man zwei Kreisſcheiben von ſehr verſchiedener Größe mit einander ſo, daß beide in derſelben Ebene liegen, und ſtreicht dann die größere mit einem Bogen, ſo entſteht auf ihr eine Klangfigur, die ihr auch für ſich ſelbſt zukommt; ſtreicht man aber die kleinere Scheibe und läßt ihre Bewegung der größeren mittheilen, ſo erhält man eine Figur wie 191, die weder in der größeren, noch in der kleineren Scheibe für ſich erzeugt werden kann.

411. Bei den mitgetheilten Schwingungen bewegen ſich alle Theile nach Richtungen, die unter ſich und auch mit jenen parallel ſind, welche den urſprünglich ſchwingenden Theilen zukommen. Wird eine Saite mit einem Ende an einen feſten Wirbel, mit dem andern an eine glä-

ſerne oder metallene, längliche Platte befeſtigt, die ſelbſt am andern Ende eingeklemmt iſt, wie Fig. 192 zeigt, und hierauf mittelſt eines Geigebogens nach einer auf der Ebene der Platte ſenkrechten Richtung in Querſchwingungen verſetzt; ſo ſchwingt auch die Platte nach derſelben Richtung, wie man aus den Klangfiguren, die aufgeſtreuter Sand ſichtbar macht, beurtheilen kann, der immer vertical in die Höhe hüpft. Bringt man Querſchwingungen an einer vertical geſpannten Saite hervor, und hält eine horizontale Glasplatte daran, ſo ſieht man auf dieſer den aufgeſtreuten Sand nicht in die Höhe hüpfen, ſondern nur horizontal fortgleiten, um ſich in Knotenlinien anzuordnen, die immer auf der Richtung des Bogenſtriches ſenkrecht ſtehen. Befeſtigt man in dem Mittelpuncte einer runden Metallſcheibe ſenkrecht auf ihre Ebene einen dünnen Holzſtab, und bringt man dieſen in Längenſchwingungen, ſo geräth die Scheibe in transverſale Oſcillationen, und darauf geſtreuter Sand ordnet ſich zu concentriſchen Kreiſen. Recht auffallend zeigt ſich die Wahrheit obiger Behauptung durch folgenden Verſuch, den Savart zuerſt anſtellte. Man befeſtige in der Mitte eines, mit einer geſpannten Saite in Verbindung ſtehenden Glasſtreifens A (Fig. 193) ſenkrecht darauf einen Streifen, an dieſen wieder einen mit dem erſten parallelen u. ſ. w. Wird nun A mittelſt der Saite in transverſale Schwingung verſetzt, ſo ſchwingen auch alle damit parallelen Stücke transverſal, alle darauf ſenkrechten aber longitudinal. Das Gegentheil findet Statt, wenn A longitudinal ſchwingt.

Die bisher beſprochene Mittheilung der Bewegung geſchieht mit einer bewunderungswürdigen Regelmäßigkeit. Sind die Streifen b, b″ von gleicher Natur und von gleichen Dimenſionen, eben ſo auch b′ und b‴ unter einander, aber von erſteren verſchieden; ſo geben b und b″ dieſelben Klangfiguren und eben ſo auch b′ und b‴, aber die von b und b′ ſtimmen nicht mit einander überein, wiewohl ſie von derſelben Quelle, nämlich von A ausgegangen ſind; ja ſelbſt das Geſetz der ungleichen Anordnung der Knotenlinien auf den zwei Flächen eines Streifens, das für Längenſchwingungen Statt hat, wird hier aufs genaueſte beobachtet; denn wenn alle Streifen b, b′, b″, b‴ einander gleich ſind und longitudinal ſchwingen, ſo ſieht man auf den zwei einander zugewendeten Flächen zweier Streifen immer dieſelbe Anordnung der Ruhelinien, während die Flächen, welche nach einerlei Gegend hinſehen, eine verſchiedene Anordnung derſelben zeigen.

412. Wheatſtone hat in Betreff der Mittheilung tönender Schwingungen eine eigene Modification entdeckt, die er, wenn auch nicht ganz paſſend, Polariſation des Schalles nennt. Stellt man nämlich eine Stimmgabel auf das Ende eines langen, geraden Metalldrahtes, der auf einem Reſonanzboden ſteht; ſo theilt ſich der Laut der Stimmgabel nur dem Brete, nicht aber dem Drahte mit. Stellt man die Stimmgabel rechtwinkelig mit dem Schafte auf ein Ende des Drahtes, ſo werden ihre Schwingungen durch den Draht dem Brete mitgetheilt, wenn die Zinken der Gabel mit der Axe des Drahtes in einerlei Ebene liegen, keineswegs aber, wenn die Axe des Drahtes auf der Ebene der Zinken ſenkrecht ſteht. Dreht man die

Stimmgabel ſucceſſiv aus einer Lage in die andere, ſo nimmt der Ton während einer ganzen Umdrehung zweimal ab und eben ſo oft zu. Biegt man den Draht, während die darauf ſtehende Gabel den ſtärkſten Ton gibt, ſo nimmt die Tonſtärke ab, iſt am ſchwächſten, wenn der Stab unter 90° gebogen iſt, wächſt wieder beim ferneren Biegen und erreicht ihr Maximum, wenn die beiden Drahthälften wieder parallel ſind. (*Ann. de Ch.* 23. 313. Schweigg. J. 47. 108.)

Auf der Mittheilung tönender Schwingungen beruht hauptſächlich die Verſtärkung des Schalles, welche man Reſonanz zu nennen pflegt, wiewohl auch die an hinreichend nahen Körpern reflectirten und für unſer Gehör mit den directen zuſammenfallenden Wellen daran nicht ſelten Antheil haben. Hiernach wird man leicht begreifen, wie ein Gebäude beſchaffen ſeyn muß, damit es eine gleichförmige, möglichſt ſtarke, dauernde Reſonanz habe, daß zur Erreichung dieſes Zweckes die Wände möglichſt glatt, nicht mit Tapeten behängt, nicht hohl ſeyn ſollen, und daß man das Volum des Raumes wohl zu berückſichtigen habe. Bei muſikaliſchen Inſtrumenten mit einem Reſonanzboden kommt es auf die Geſtalt und Größe des eingeſchloſſenen Luftraumes und auf die Lage ſeiner Oeffnungen vorzüglich an.

D. Nähere Betrachtung des Schalles als ſolchen.

413. Es iſt eine durch alle im Vorhergehenden angeführte und noch andere unzählige Erfahrungen erwieſene Thatſache, daß jede hinreichend ſchnelle und ſtarke Erſchütterung des unſer Gehörorgan umgebenden Mediums in uns die beſondere Empfindung erregt, welche wir durch das Wort Schall ausdrücken. Jeder Körper, der eine ſolche Erſchütterung des Mediums zu bewirken vermag, kann daher als ſchallender Körper auftreten. Es kann alſo ein Inſect durch die mit der Flügelbewegung verbundenen raſchen Zuſammenziehungen und Erweiterungen der Bruſthöhle, welche ein ſtoßweiſes Aus- und Einathmen der Luft bewirken (Burmeiſter, in Pogg. Ann. 38. 283), ein Stab oder eine Peitſche, die ſchnell genug durch die Luft fahren, eine Luftmaſſe, die angezündet wird und dabei ein Product von viel kleinerem Volum liefert, wie z. B. Knallgas, ein beim Erhitzen und Erkalten ſein Volum in raſch auf einander folgenden Abſätzen änderndes Metall u. dgl. einen Schall erregen. Vorzüglich ſind aber dazu, wie bereits früher bemerkt worden, die in ſtehender Wellenbewegung befindlichen Körper geeignet.

Um ein erhitztes Metall beim Abkühlen zum Tönen zu bringen, dient am beſten das ſogenannte Trevelyan-Inſtrument. Es beſteht aus einem etwa $1\frac{1}{2}$—2 Zoll breiten, 4—5 Zoll langen Stücke Eiſen, Meſſing oder Kupfer, das in einen runden dünnen Stiel ausläuft und an einer cylindriſch geſtalteten convexen Fläche eine Längenfurche hat, damit es eine Unterlage nur an den Rändern dieſer Furche berühre. Legt man das Metallſtück im kalten Zuſtande auf die Kante eines dreiſeitigen Prisma's von Blei (Fig. 194), ſo daß es nur mit den erwähnten Rändern aufliegt, und ſich zugleich mit dem Stiele auf den Tiſch ſtützt, ſo erfolgt, wenn man es auf einer Seite ein wenig drückt und dann losläßt, ein Hin- und Herwackeln des Metallſtückes, und man hört einige hinter einander folgende Stöße, die, weil das Metall-

ſtück gleich wieder zur Ruhe kommt, nicht andauern. Erhitzt man aber das Metallſtück und verfährt wie vorhin, ſo folgen die Stöße viel raſcher hinter einander, und verſchmelzen alsbald in einen Ton. Dieſe Stöße rühren davon her, daß das kalte Blei an den Puncten, wo es vom Metallſtücke berührt, mithin erwärmt wird, eine Erhöhung bekommt, in Folge deſſen das Metallſtück ſeitwärts fällt, worauf die Erhöhung ſich verliert und gleichzeitig auf der andern Seite eine Erhöhung entſteht, weßwegen das Metall wieder in die frühere Lage zurückfällt u. ſ. w. Neueſtens hat man gefunden, daß eine Zinkſtange, die auf zwei Stützen ruht und mit einer Spirituslampe erwärmt wird, zum Tönen kommt. Das Tönen einer heißen Silbermaſſe auf einem eiſernen Ambos war ſchon länger bekannt. (Gilb. Ann. 22. 323; Pogg. Ann. 24. 466; 32. 553; 43. 405; 51. 1.)

414. Als Schallmittel kann jeder Körper dienen, der eine erlittene Erſchütterung fortzupflanzen vermag. Das gewöhnliche Schallmittel iſt die atm. Luft; es ſind aber alle Körper, ſie mögen feſt oder tropfbar ſeyn, ja ſogar die Dünſte dazu geeignet, wie man aus unzähligen Erſcheinungen abnehmen kann. Hält man z. B. das Ohr an das Ende eines Stabes, der am anderen Ende eine Uhr berührt, ſo hört man ihren Gang beſſer als durch die Luft; durch die Erde wird der Donner der Kanonen auf ungeheure Entfernungen fortgepflanzt; zwei Steine, die unter Waſſer zuſammengeſchlagen werden, hört man in demſelben und außerhalb deſſelben; Fiſche folgen dem Schalle einer Glocke, die ſich außer dem Waſſer befindet; hängt man ein Glöckchen in einer gläſernen, mit Dampf gefüllten Kugel mittelſt eines feinen Fadens auf, ſo hört man ſeinen Klang recht vernehmlich durch die Dünſte. Die Nothwendigkeit des Schallmittels, um die Schwingungen eines ſchallenden Körpers vernehmen zu können, ſetzt ein Verſuch mit der Luftpumpe, unter deren Recipienten man das Schlagwerk einer Uhr gebracht hat, außer Zweifel. Je mehr man die Luft unter dem Recipienten verdünnt, deſto ſchwächer wird der Schall, und iſt, wenn man Sorge getragen hat, das Schlagwerk auf einen weichen Polſter zu ſetzen, damit nicht der Teller und das Geſtelle der Luftpumpe zur Schallleitung diene, zuletzt nicht mehr vernehmlich. Läßt man Luft zu, während das Schlagwerk im Gange iſt, ſo hört man den Schall wieder.

415. Jeder Schall hat einen eigenthümlichen Charakter, der durch ſein Quantitatives und durch ſein Qualitatives beſtimmt wird. Seine Qualität läßt ſich nicht beſchreiben, ſie iſt das, wodurch ſich z. B. eine Menſchenſtimme von dem muſikaliſchen Schalle eines Inſtrumentes, ja ſelbſt der Schall eines Inſtrumentes von dem eines andern unterſcheidet. Man kann es mit Chladni den Laut oder vielleicht noch paſſender den Klang des Schalles nennen. Das Quantitative bezieht ſich auf die Stärke, Höhe und Tiefe des Schalles. Ein Schall, der uns als etwas Einfaches, in ſeinen Theilen Gleichartiges erſcheint, heißt Klang; ein in Bezug auf Höhe und Tiefe betrachteter Klang, ein Ton. Man ſagt: eine Saite klingt und gibt einen hohen oder tiefen Ton; ein Waſſerfall macht ein Geräuſch. Zwei zu gleicher Zeit erzeugte Töne klingen entweder angenehm

oder unangenehm zuſammen; im erſten Falle bilden ſie eine Conſonanz, im zweiten eine Diſſonanz. Drei oder mehrere conſonirende Töne geben einen Accord. Eine geregelte Folge einzelner Töne heißt Melodie; eine geregelte Folge von Accorden Harmonie. Ein Klang wird nur durch regelmäßige Schwingungen des ſchallenden Körpers erzeugt, und darum werden geregelt, ſchnell und hinreichend ſtark ſchwingende Körper auch vorzugsweiſe als klingende Körper angeſehen.

Das Weſen der quantitativen Eigenſchaft des Schalles, welche die Höhe und Tiefe des Tones beſtimmt, läßt ſich, wie im Vorhergehenden hinreichend in das Licht geſtellt worden, nicht bloß im Allgemeinen angeben, ſondern auch meſſen; ein Gleiches gilt gewiſſermaßen auch von der Stärke, wie im Folgenden gezeigt werden ſoll. Ueber die Qualität vermag jedoch die Phyſik bis jetzt nur wenig Auskunft zu ertheilen, und dieß nur in ſofern, als ſelbe ſich auf eine Beziehung zwiſchen Quantitäten zurückführen läßt. Es iſt nämlich ſehr wahrſcheinlich, daß die Qualität eines Tones von dem Geſetze abhängt, an welches die Geſchwindigkeit jedes Theiles des ſchwingenden Körpers während einer Schwingung gebunden iſt; denkt man ſich dieſe Geſchwindigkeit durch die Ordinate einer krummen Linie ausgedrückt, die dazu gehörige Zeit aber als deren Abſciſſe, ſo kann die Form dieſer Curve als ein Bild des Charakters des Tones betrachtet werden. Wahrſcheinlich liegt es in der Einfachheit oder Complication dieſer krummen Linie, ob ein Schall ein bloßes Geräuſch oder ein Klang iſt; die verſchiedenen Charaktere des Schalles, welche man mit den Worten: Brauſen, ſauſen, knarren, ziſchen, klatſchen, poltern, raſſeln, rauſchen, rollen ꝛc. ꝛc. bezeichnet, deuten wohl nur auf eine durch das Zuſammentreffen mehrerer ungleichartigen Schalle entſtandene Complication des Eindruckes auf unſer Gehörorgan hin.

416. Wir beſitzen nicht bloß das Vermögen, eine Reihe iſochroner, oder doch wenigſtens von einem mittleren Werthe des Intervalles nicht zu ſehr abweichenden Stöße auf unſer Gehörorgan als Ton wahrzunehmen, ſobald nur dieſe Stöße ſich ſo an einander anſchließen, daß die Empfindung die Stöße überdauert und ſo gleichſam ein Stoß mit dem andern zu einem Ganzen zuſammenfließt; ſondern wir haben auch ein beſonderes Gefühl für die Ordnung, in welcher die von zwei verſchiedenen Tönen herrührenden Stöße abwechſeln. Erfolgen nämlich mehrere Syſteme von Stößen zugleich, ſo bringen ſie eine deſto willkommenere Empfindung hervor, in je einfacheren Zeitverhältniſſen ſie wiederkehren, etwa ſo, wie die Ordnung der von zwei verſchiedenen Individuen zugleich verübten Hammerſchläge ſich leichter auffaſſen läßt, und dieſe daher ſich in ihrem Zuſammenhange beſſer ausnehmen, wenn die Intervalle, die jeder einzeln beobachtet, mit einander commenſurabel ſind, als wenn im Ganzen keine, oder eine nur ſchwer faßliche Ordnung herrſcht. Ein einfaches Verhältniß dieſer Art wird als Conſonanz, ein complicirtes als Diſſonanz wahrgenommen, und die Conſonanz iſt um ſo vollkommener, auf je einfacheren Zahlen dieſes Verhältniß beruht. Dieß iſt die natürlichſte Erklärung

der Thatſache, daß die Conſonanz der Octave mit dem Grundtone als die vollkommenſte erſcheint, die Quinte dieſer zunächſt ſteht u. ſ. w.

Die Zahlen, welche in die harmoniſchen Verhältniſſe eingehen, ſind bloß die ſechs erſten der natürlichen Reihe, nämlich 1, 2, 3, 4, 5, 6. Mit der Zahl 7 fängt die Diſſonanz an. Dieß zeigt ſich deutlich an dem ſiebenten Tone der einfachen Trompete, der ſelbſt einem minder geübten Gehöre als ein falſcher erſcheint. Man kann die Wirkung der Conſonanz mit dem günſtigen Eindrucke vergleichen, den eine leicht faßliche Anordnung zweier Reihen gleichweit von einander entfernter Puncte, deren eine über der andern ſteht, auf unſer Auge macht. Sonach wäre die ſinnbildliche Darſtellung der Octave und der Quinte folgende:

Octave . . . .
Grundton . . . .
Quinte . . . .
Grundton . . . .

wobei die Folge der Puncte die Folge der Stöße jedes Tones anzeigt.

Treffend ſind daher des großen Leibnitz Worte: Musica est exercitium arithmeticae occultum nescientis se numerare animi .... Anima igitur etsi se numerare non sentiat, sentit tamen huius numerationis insensibilis effectum, seu voluptatem in consonantiis, molestiam in dissonantiis inde resultantem. (Epist. ad diversos 1. ep. 154.)

Wie ſehr die Wahrnehmung eines Tones von der oben ausgeſprochenen Bedingung des Zuſammenfließens der Empfindungen ſucceſſiver Stöße zu einem Ganzen abhängt, hat Savart durch Verſuche nachgewieſen. So wird gewöhnlich angenommen, daß zur Erzeugung eines Tones wenigſtens 16 Stöße in der Secunde erforderlich ſeyen, und man kann dieß auch als Regel zulaſſen; doch iſt es möglich, auch weniger Stöße zu einem Tone zu verbinden, wenn ſie das Gehörorgan nur kräftig genug afficiren Dieß iſt der Fall, wenn ein maſſiver Stab von 2 bis 3 Fuß Länge um eine durch ſeine Mitte geführte Axe in Rotation verſetzt wird und dabei zwiſchen zwei Bretern, welche gleichſam eine Spalte bilden, ohne dieſelben zu berühren, hindurchgeht. Iſt die Spalte hinreichend eng, ſo entſteht bei jedem Durchgange in Folge der Erſchütterung der Luft ein intenſiver Schall, einem Knalle ähnlich, und man vernimmt da ſchon einen zuſammenhängenden Ton von auffallender Intenſität und Tiefe, wenn auch nur 7 — 8 Durchgänge binnen einer Secunde erfolgen, die eben ſo vielen Schwingungen entſprechen.

417. Daß wir mehrere, ja eine große Anzahl Töne und Laute aller Art auf einmal wahrnehmen und einen von dem andern unterſcheiden können, iſt eine einfache Folge des Interferenzgeſetzes fortſchreitender Wellen. Werden nämlich an mehreren Stellen eines Mediums zugleich Schallwellen erregt, ſo pflanzt ſich jede unabhängig von der andern fort; treffen ſie irgendwo zuſammen, ſo durchkreuzen ſie ſich und ſetzen ihren Weg auch nach der Durchkreuzung unverändert fort, als hätten ſie ſich nie begegnet. Nur an der Durchkreuzungsſtelle wirken ſie wechſelweiſe auf einander ein (interferiren ſich), und verſtärken oder ſchwächen ſich, oder heben ſich daſelbſt gar auf, je nachdem ſich die Theile der ſich ſchneidenden Wellenſtücke nach derſelben oder

nach entgegengeſetzten Richtungen bewegen; im Allgemeinen iſt die Bewegung eines Theilchens des Mittels, durch welches ſich mehrere Laute zugleich fortpflanzen, die Reſultirende der dieſen entſprechenden Bewegungen einzeln genommen, und kann nach der Regel der Zuſammenſetzuug der Bewegungen gefunden werden. Man nennt dieſes Geſetz auch das Geſetz der Coexiſtenz der kleinſten Bewegungen. Unſer Gehörorgan nimmt alle Interferenzeffecte, die in der mit ihm in unmittelbarer Berührung ſtehenden Luft vor ſich gehen, getreu auf; durch die Schwingung eines Lufttheilchens, das zu zwei oder mehreren der Phaſe nach übereinſtimmenden Wellentheilen gehört, wird es ſtärker afficirt; wenn aber auf das Lufttheilchen einander entgegenwirkende Phaſen übertragen werden, iſt der Eindruck ſchwächer.

Sehr belehrende Verſuche hierüber kann man nach Seebeck (Pogg. Ann. 53. 417) mittelſt einer auf ihre einfachſte Form gebrachten Syrene anſtellen, die aus einer hölzernen mit Blei beſchwerten, um eine Axe drehbaren Scheibe beſteht, an welcher ſich Scheiben von dünner glatter Pappe concentriſch befeſtigen laſſen, in die längs der Peripherie eines oder mehrerer concentriſchen Kreiſe Reihen von Löchern in mannigfaltiger Vertheilung, wie es die Abänderungen der Verſuche fordern, eingeſchlagen ſind. Die Axe wird mittelſt eines Wellrades und Schnurlaufes in Bewegung geſetzt, und die Bewegung mit Hilfe eines Windflügels regulirt. Die Töne werden hervorgerufen entweder indem man durch eine oder mehrere Röhren einen Luftſtrom gegen die in Drehung befindliche Löcherreihe leitet, oder indem man eine aus Kartenblatt geſchnittene Spitze ſo gegen die Scheibe hält, daß ſie in die Löcher einſchlägt. Läßt man nun von entgegengeſetzten Seiten zwei Luftſtröme gegen die Scheibe gehen, und hat man die Zuleitungsröhren ſo geſtellt, daß gleichzeitig ſtets zwei verſchiedene Löcher getroffen werden, ſo hört man keinen Ton, während ihn jeder einzelne Luftſtrom für ſich allein kräftig hervorbringt. Der urſprüngliche Ton erſcheint aber ſogleich, und zwar verſtärkt, wenn die Löcher von den zwei entgegengeſetzten Luftſtrömen nicht gleichzeitig, ſondern alternirend getroffen werden. Sind auf einer Scheibe concentriſch zwei Löcherreihen angebracht, deren eine doppelt ſo viel Löcher hat, als die andere, ſo hört man bei dem Anblaſen von derſelben Seite her zwei Töne, deren einer die Octave des andern iſt; bei entgegengeſetztem Anblaſen, ſo daß mit den in geringerer Anzahl vorhandenen Löchern immer eines der andern Reihe zugleich getroffen wird, verſchwindet der höhere Ton, und man hört den tieferen allein, welcher hier von jenen der für ſich den höheren Ton gebenden Löcher herrührt, deren Wirkung der Interferenz entſchlüpft. Leitet man gegen eine Reihe äquidiſtanter Löcher zwei Luftſtröme von derſelben Seite, ſo daß, wenn einer eine Oeffnung trifft, der andere mitten auf das Intervall zwiſchen zwei Löchern fällt, ſo hört man die Octave des Tones, den ein Luftſtrom für ſich allein gibt. Sind die Löcher einer Reihe nicht gleichweit von einander entfernt, ſondern wechſeln Intervalle von zwei verſchiedenen Größen mit einander ab, und man leitet einen Luftſtrom gegen die Scheibe, ſo hört man einen ſolchen Ton, als ob nur halb ſo viel Löcher da wären, deren Abſtand der Summe zweier benachbarten Intervalle gleich kommt, und wenn die Differenz der Intervalle nicht zu groß iſt, auch deſſen höhere Octave. Mit der ſo vorgerichteten Syrene läßt ſich bei unregelmäßiger Folge der Löcher zeigen, wie bedeutend

die Abweichung vom Isochronismus der Stöße ſeyn kann, ohne daß wir aufhören, einen gleichartigen Ton wahrzunehmen. Seebeck ließ die Intervalle zwiſchen zwei auf einander folgenden Impulſen bis zum Verhältniß 9 : 11 oder gar 5 : 7 variiren, und hörte noch immer den dem Mittelwerthe entſprechenden Ton, während bei ganz regelmäßigen Schwingungen das Verhältniß 9 : 11 mehr als eine kleine Terz, und 5 : 7 faſt eine halbe Octave beträgt. Mittelſt der Syrene läßt ſich auch klar zeigen, daß bei den Schwingungen der Saiten, Stäbe ꝛc. zu einem Stoße als Element eines Tones ein Hin- und Hergang nothwendig ſey; denn ſie entſprechen zuſammen dem Intervalle zwiſchen zwei Stößen der Syrene, weßwegen wir ſtets beide zuſammen für eine Schwingung gezählt haben. Aber auch wenn ein zwiſchen zwei Säulen raſch oſcillirendes Pendel durch die Schläge, die es gegen die Säulen macht, einen Ton erzeugt, entſpricht der Ton nur der halben Anzahl der Schläge, es ſind alſo zwei Schläge für eine Schwingung zu zählen. Obgleich hier getrennte Stöße gemacht werden, wirken die der Stellung nach, d. h. in Bezug auf das Vorausgehen der Verdichtung oder Verdünnung entgegengeſetzten Wellen auf das Ohr nur wie Beſtandtheile einer doppelt ſo langen Welle.

418 Pflanzen ſich daher zwei nicht ganz iſochrone Schwingungen bis zu unſerem Gehörorgane fort, ſo müſſen ſie ſich, indem bald Verdichtungen, bald Verdünnungen zuſammenkommen, abwechſelnd verſtärken und ſchwächen, und dadurch jenes periodiſche Anſchwellen und Nachlaſſen der Töne bewirken, welches man das Schweben derſelben nennt. Folgen die Momente, wo die Einwirkungen am meiſten übereinſtimmen, d. h. die Schwebungen und Stöße ſchnell genug auf einander, ſo begründen ſie das Entſtehen einer Reihe anderer Töne, die man Combinationstöne nennt. Von dieſer Art iſt z. B. jener Ton, der aus dem gleichzeitigen Ertönen des Grundtones und ſeiner Quint hervorgeht, und der tieferen Octave gleich kommt. Da ſich nämlich die Schwingungszahlen des Grundtones und der Quint für dieſelbe Zeit wie 2 : 3 verhalten, ſo erfolgt nach je zwei Schwingungen des erſteren ein ſtärkerer Stoß. (Hallſtröm in Pogg. Ann. 24. 438). Weber ebend. 28. 10. Scheibler ebend. 32. 333. Ohm ebend. 47. 463. Dove's Repert. 3. 1 u. 404.)

Die Schwebungen hört man ſehr deutlich, wenn die Töne zweier Orgelpfeifen einander nahe gleich kommen oder einer reinen Conſonanz ſehr nahe ſtehen, ohne dieſe zu erreichen. Je weniger die Töne von der genauen Stimmung abweichen, deſto langſamer werden die Stöße, ſo daß man ſie bequem zählen und das zwiſchen ihnen verfließende Zeitintervall meſſen kann. Ein Gleiches läßt ſich an Stimmgabeln, Klavierſaiten ꝛc wahrnehmen. Daher auch die Benennungen »gleichſchwebende« und »ungleichſchwebende« Temperatur (377). Wird nämlich, um die Reinheit der Octaven zu erhalten, von der vollkommenen Reinheit der Quinten eines muſikaliſchen Inſtrumentes mit fixen Tönen abgegangen, aber der Fehler für alle Quinten gleich gemacht, ſo geben je zwei derſelben gleiche Schwebungen; da man dieſe hören kann, ſo hat man darnach ein Mittel, eine ſolche Stimmung zu bewerkſtelligen. In Betreff der Schwebungen beſteht die Regel, daß die Anzahl derſelben während einer gegebenen Zeit dem abſoluten Höhenunterſchiede der ſie erzeugenden Töne gleich iſt. Dieſe Regel, läßt ſich recht

gut an den Schwingungen zweier neben einander aufgehängten Pendel von nahe gleicher Länge anſchaulich machen. Zur graphiſchen Darſtellung der Combinationstöne verſchiedener Ordnung trage man für jeden der zwei erzeugenden Töne die Verdichtungen eines beſtimmten Lufttheilchens als poſitive, die Verdünnungen als negative Ordinaten an einer Axe auf, deren Abſciſſen die Zeit anzeigen, und verzeichne durch Summirung der zu jeder Abſciſſe gehörenden Ordinaten eine dritte Curve. Der Zug der verſchiedenen Gipfel der letzteren ſtellt den Gang der Eindrücke, welche das Gehörorgan nach einander erfährt, vor Augen, und man ſieht daraus, daß ſich die Sache ungefähr ſo verhält, wie wenn eine Saite zugleich in mehreren Syſtemen von Abtheilungen ſchwingt (381).

419. Wir beziehen die Wahrnehmung eines Schalles immer auf eine gewiſſe Richtung, nach welcher der Schall zu uns kommt. Es iſt dieſes keine andere, als die Richtung des Fortſchreitens des Wellenſtückes, von dem die Einwirkung auf das Gehörorgan herrührt, mithin in der Luft oder in einem andern nach allen Seiten gleich elaſtiſchen Mittel (abgeſehen von Urſachen, welche die Richtung der Welle abändern) die Gerade, die von dem Orte der Schallerregung zu dem genannten Wellenſtücke geht. Man nennt eine ſolche gerade Linie einen Schallſtrahl.

420. Gelangt eine Schallwelle an eine Stelle, wo das Medium, in dem ſie bisher fortging, aufhört und ein anderes beginnt, ſo ſpaltet ſich gleichſam die Welle in zwei Theile; der eine dringt in das neue Mittel ein, der andere aber kehrt in das vorige zurück, d. h. er wird reflectirt. Man muß aber die regelmäßige Reflexion des Schalles von der Zerſtreuung deſſelben wohl unterſcheiden. Bei erſterer bilden die einzelnen Elementarwellen, die ſich zu einer wirkſamen Schallwelle zuſammengeſetzt haben (349), ſelbſt noch nach der Zurückwerfung eine wirkſame Welle, bei letzterer wird eine wirkſame Welle durch Reflexion in ihre Elementarwellen zerlegt, und hört dadurch auf, eine deutliche Schallempfindung hervorzubringen; bei erſterer macht der reflectirte Schallſtrahl mit der Trennungsfläche beider Mittel einen Winkel, welcher jenem gleich iſt, den der auffallende Strahl mit derſelben einſchließt; bei letzterer wird der einfallende Strahl durch Reflexion in eine Menge nach verſchiedenen Richtungen ausfahrender einzelnen Strahlen aufgelöſet; erſtere tritt ein, wenn die Grenze der Schallmittel, wo die Zurückwerfung Statt hat, eine Ebene oder eine ziemlich regelmäßig gekrümmte Fläche iſt, letztere, wenn dieſe Grenze unregelmäßige Erhöhungen und Vertiefungen hat. Das Verhältniß der Intenſität des regelmäßig reflectirten und durchgelaſſenen Strahles richtet ſich nach dem Verhältniſſe der Schallgeſchwindigkeit in beiden an einander grenzenden Mitteln. Die regelmäßige Reflexion tritt nach den angeführten Geſetzen am deutlichſten an nach einer Kugelkrümmung ausgehöhlten Flächen (Niſchen in Gebäuden) hervor. Stellt man zwei ſolche hohle Flächen (Hohlſpiegel) einander gegenüber, und es ſpricht Einer mit dem Geſichte gegen eine Fläche

gekehrt in der Entfernung des halben Radius derſelben, ſo hört ihn ein Zweiter, der ſein Ohr in der entſprechenden Entfernung von der zweiten Fläche hat, deutlich, während Andere in der Nähe befindliche nichts hören. Es werden alſo die Schallſtrahlen, welche auf die erſte Fläche auffallen, parallel mit einander reflectirt, fallen ſo auf die zweite, und erleiden daſelbſt wieder eine Reflexion, wodurch ſie aber vereiniget werden. Von der Art war das ſogenannte Ohr des Dionyſius in den Steinbrüchen bei Syrakus.

Aus dem Geſagten iſt begreiflich, daß nicht bloß feſte, ſondern auch tropfbare und ausdehnſame Körper, wie z. B. Wolken, warme Luft u. ſ. w., den Schall reflectiren können, und daß überhaupt bei jedem Uebergange des Schalles von einem Mittel in ein anderes eine Reflexion eintritt. Bei den Schallverſuchen in Frankreich bemerkte man, daß der Knall einer Kanone bei heiterem Himmel ganz einfach gehört wurde, während er bei einer nur mäßigen Bewölkung an demſelben Orte wie das Rollen des Donners erſchien, zum Beweiſe, daß ſelbſt Wolken den Schall reflectiren. Da unſer Urtheil über die Lage des ſchallenden Körpers von der Fortpflanzungsrichtung der zu unſerem Ohre gelangenden Schallwelle abhängt, ſo muß dieſes, wenn nicht andere Puncte darauf Einfluß nehmen, ſtets unrichtig ausfallen, ſo oft ein Schallſtrahl auf ſeinem Wege von der geraden Richtung abgelenkt wird; daher es ſchwer iſt, in einem Walde die Quelle eines beſtimmten Schalles zu finden, und hierüber ſo leicht Irrungen Statt finden können.

421. Iſt die Entfernung des reflectirenden Körpers von der Quelle des Schalles nicht groß, ſo fällt der reflectirte Schall mit dem urſprünglichen zuſammen, und bewirkt eine Verſtärkung deſſelben; beträgt die Entfernung mehr, ſo kann durch die Reflexion der urſprüngliche Schall nicht bloß verſtärkt, ſondern auch verlängert werden, jedoch ohne daß eine Unterbrechung wahrzunehmen iſt. Dieſes nennt man einen Nachhall. Iſt endlich die Entfernung ſo groß, daß der reflectirte Schall erſt dann zurückkommt, wenn ſich das Ohr vom erſten Schalle ſo erholt hat, daß es für einen zweiten vollkommen empfänglich iſt; ſo vernimmt man den Schall doppelt, und dieſe Erſcheinung heißt Wiederhall oder Echo. Da der Erfahrung gemaß das menſchliche Gehör in einer Secunde 9 Laute völlig deutlich vernehmen und von einander unterſcheiden kann, ſo muß ein Gegenſtand, der den letzten Laut eines zuſammenhängenden Schalles als Echo zurückſenden ſoll, $1050:18 = 58{,}3$ Fuß entfernt ſeyn. Beträgt dieſe Entfernung $58{,}3 \times 2 = 116{,}6$ Fuß, ſo werden die zwei letzten Laute im Echo vernehmbar, oder es iſt zweiſilbig, bei der Entfernung von $58{,}3 \times 3 = 174{,}9$ Fuß dreiſylbig ꝛc. Gibt es mehrere reflectirende Gegenſtände, wovon einer ein einſylbiges, der andere ein zweiſylbiges, der dritte ein dreiſylbiges Echo hervorbringt; ſo entſteht ein zweifaches oder dreifaches Echo. Daß zur Entſtehung eines Echo's nicht bloß die gehörige Entfernung des reflectirenden Körpers vom Hörenden, ſondern auch eine der regelmäßigen Reflexion (nicht Zerſtreuung)

des Schalles günſtige Beſchaffenheit deſſelben gehöre, iſt aus dem Vorhergehenden klar.

Ein Echo mag wohl im Freien ſehr ergötzen, in Hörſälen, Theatern ꝛc. iſt es aber höchſt nachtheilig. Um es da zu verhüten oder zu mindern, iſt das Durchbrechen der Decke, das Unebenmachen derſelben mit Zierathen, das Behängen mit Teppichen, oder wenn die Wände hohl ſind, das Ausfüllen der Höhlungen mit Sägeſpänen, ein wirkſames Mittel Es gibt viele ſchon vom Alterthume her berühmte Echo. Ein ſolches am Grabmale der Metella, Gemahlin des Craſſus, ſoll den erſten Vers der Aeneide achtmal wiederholt haben; ein Echo zwiſchen Coblenz und Bingen ſoll ein Wort ſiebzehnmal wiederholen, ein anderes bei dem Schloſſe Simonetta unweit Mailand gibt gar eine vierzigmalige Wiederholung deſſelben Lautes Bei Verdun iſt ein zwölf- bis dreizehnfaches Echo vernehmbar. In großen, durch Kuppelgewölbe geſchloſſenen Räumen ſind mehrfache Echo keine Seltenheit.

422. Die Intenſität des Schalles hängt, abgeſehen von der Empfindlichkeit des Gehörorganes, von der Größe des Stoßes ab, der auf dieſes Organ ausgeübt wird, und von dem Zwiſchenraume, der einen Stoß vom andern trennt. Daraus ergibt ſich, daß die Stärke des Schalles durch die Beſchaffenheit und Bewegung des ſchallenden Körpers, durch die Natur des fortpflanzenden Mittels und endlich auch noch durch die Lage des Hörenden gegen den ſchallenden Körper beſtimmt wird.

423. Je mehr Theile des ſchallenden Körpers zugleich ſchwingen, je ſchneller ſie dieſes thun und je größere Excurſionen ſie machen, ferner, je weniger die Wirkungen der verſchiedenen oſcillirenden Theile des ſchallenden Körpers auf das Schallmittel einander entgegengeſetzt ſind, deſto größer wird der Unterſchied zwiſchen der Dichte des verdichteten und verdünnten Theiles einer Schallwelle, mithin deſto intenſiver ihre Wirkung auf das Gehörorgan. Je vollkommener die Trennung der einzelnen Stöße des ſchallenden Körpers auf das Schallmittel iſt, deſto mehr Intenſität erhält der Schall.

Deßhalb iſt der Ton einer Metall- oder Glasplatte ſo ſtark, daß man ihn ohne Hülfsmittel weit hört (Glockengeläute), während der Ton einer Saite und einer Stimmgabel ſchon in kleiner Entfernung nicht mehr hörbar iſt; darum verurſachen lange Peitſchen einen ſtärkeren Knall als kurze, deßhalb iſt der Donner einer Kanone heftiger als der Knall einer Flinte; aus dieſem Grunde ſind hohe Töne und ſolche, die dicken Saiten entlockt werden, ſo ausgiebig; darum verſtärkt bei Streichinſtrumenten das Aufdrücken mit dem Bogen und das Rauhmachen deſſelben mit Kolophonium den Ton ſo ſehr. Die Zinken einer auf gewöhnliche Weiſe zum Tönen gebrachten Stimmgabel haben gleichzeitig faſt einander entgegengeſetzte Bewegungen, die ſich auch der Luft mittheilen, und darum nur einen ſehr ſchwachen Ton erzeugen. Bringt man an einer Zinke ein Papierſcheibchen an, das beim Schwingen mit ſeiner Fläche gegen die Luft ſchlägt, und macht die Maſſe der zweiten Zinke durch Wachs der erſten gleich, ſo wirkt eine Zinke viel ſtärker auf die Luft als die andere, und der Ton wird in der That viel ſtärker und heller. Dreht man ein mit vielen Speichen verſehenes Rädchen um ſeine Axe, und läßt es dabei mit den Speichen an einen

leichten Körper anſtoßen, ſo wird der dadurch erregte Schall deſto ſtärker, je weiter der ſtoßende Körper vom Mittelpuncte des Rades abſteht, mithin je ſtärker die einzelnen Stöße und je ſchärfer ſie von einander getrennt ſind.

424. Je dichter das den Schall fortpflanzende Mittel iſt, und je weniger es den Stößen des ſchallenden Körpers ausweicht (je geringer ſeine Expanſivkraft im Vergleiche mit der Dichte iſt), deſto größer wird die Dichte des verdichteten, und deſto kleiner die des verdünnten Wellentheiles, mithin deſto intenſiver wird der Schall. Je weniger das Mittel vermöge ſeiner Geſtalt den Wellen erlaubt, ſich zu erweitern und eine größere Maſſe in Bewegung zu ſetzen, deſto leichter erhält es den Schall bei ſeiner urſprünglichen Stärke. Je ſeltener eine Schallwelle gezwungen wird, von einem Mittel in ein anderes überzugehen, deſto mehr wird die bei jedem Wechſel des Mittels (420) Statt findende Theilung der Welle verhüthet, und für die Erhaltung ihrer urſprünglichen Intenſität geſorgt. Der Wind muß offenbar den Schall verſtärken oder ſchwächen, je nachdem er mit oder gegen denſelben geht.

Hieraus erklären ſich: Die beſondere Schwäche des Schalles im Waſſerſtoffgas, wie Leslie zeigte, und in verdünnter Luft, z. B. unter dem Recipienten einer Luftpumpe oder auf hohen Bergen; warum eine angeſchlagene Stimmgabel nicht lautet, wenn ſie in eine Drehbank eingeſpannt und ſchnell umgedreht wird; warum man an kalten Tagen einen Schall weiter hört, als an warmen; warum man eine Uhr durch die Luft in mäßiger Entfernung nicht mehr, mittelſt eines daran gehaltenen Stabes aber (wo die Schallwellen wie in einer cylindriſchen Röhre ſich fortpflanzen müſſen, und ſich nicht erweitern können) noch recht gut hört; warum dieſes ein Stab beſſer thut, als ein unförmlicher Klotz; warum man ſich auf die Erde legen muß, um weit entferntes Geräuſch zu hören; warum der Schall durch zwei Breter, die eine Luftſchichte zwiſchen ſich enthalten, mehr geſchwächt wird, als durch ein einziges doppelt ſo dickes Bret; warum Wolle, Sägeſpäne und alle Körper, die viele mit Luft gefüllte Zwiſchenräume haben, den Schall ſo ſehr ſchwächen; warum ein Laut bei Nacht, wo die Luft gleichförmiger erwärmt iſt, als bei Tage, auch beſſer gehört wird 2c.

425. Weil die Schallwellen in freier Luft immer größer werden, je weiter ſie ſich vom ſchallenden Körper entfernen; ſo muß die Bewegung der Theile, welche das Ohr treffen, in demſelben Verhältniſſe kleiner werden, und es müſſen auch dieſer Theile wenigere ſeyn. Darum nimmt der Schall in der Luft in dem Maße ab, in welchem das Quadrat der Entfernung des Hörenden vom ſchallenden Körper zunimmt. Wenn das Schallmittel vom ſchallenden Körper ringsum, gleichzeitig und auf dieſelbe Weiſe afficirt wird, wie dieſes z. B. bei einer explodirenden Knallgasblaſe der Fall iſt, ſo wird der Schall in gleichen Entfernungen von dieſem Körper ringsum gleich ſtark wahrgenommen; wird aber dieſes Mittel an einigen Stellen ſtärker als an anderen afficirt, ſo muß es rings um den ſchallenden Körper ſelbſt bei gleicher Entfernung von ihm Stellen geben, wo der Schall ſtärker er-

ſcheint als an anderen, ja an einigen Stellen kann derſelbe ganz verſchwinden.

Eine ſchwingende Saite erregt nach der Richtung ihrer Ausbeugung eine verdichtete, nach der entgegengeſetzten gleichzeitig eine verdünnte Luftwelle, und geht man rings um die Saite herum, ſo kommt man von der Gegend, wo die verdichtete Welle gleichſam vorausgeht, in jene, wo dieſes mit der verdünnten der Fall iſt; an der Grenze beider kann demnach weder Verdünnung noch Verdichtung Statt finden, und daher wird dort das Ohr gar nicht afficirt werden. Bei Saiten ſind dieſe Grenzſtellen ſchwer zu finden (wiewohl an ihrer Exiſtenz nicht gezweifelt werden kann), weil man Saiten überhaupt ohne Reſonanzboden nicht weit genug hört, und das Mittönen eines Reſonanzbodens eine Störung hervorbringt; bei einem Stabe, den man durch einen Schlag nach der Quere zum Tönen bringt, trifft man dieſe indifferenten Stellen leicht, wenn man um ihn herumgeht, oder noch beſſer, wenn man ihn vor dem Ohre um ſeine Axe dreht. Am beſten gelingt dieſer Verſuch mit einer Stimmgabel, wo beide Zinken zur Erzeugung dieſes Phänomens zuſammenhelfen. Da tritt es auch ſo deutlich hervor, daß W. Weber ſogar die vier Flächen rings um die Gabel, wo kein Tönen vernommen wird, näher beſtimmen, und ihre hyperboliſche Krümmung nachweiſen konnte (Schweigg. J. 48. 385). Dreht man eine ſchwingende Stimmgabel vor der Mündung eines Cylinderglaſes von ſchicklicher Länge, damit die in demſelben befindliche Luftſäule mitklinge, und dadurch das Tönen der Gabel verſtärkt werde; ſo läßt ſich die Abhängigkeit der Stärke des gegen dieſe Luftſäule hin fortgepflanzten Klanges von der Stellung der Flächen der Zinken gegen die Mündung des Glaſes leicht mehreren zugleich hörbar machen. Stellt man das Ende eines tönenden Stabes oder die Zinken einer Stimmgabel in Waſſer, ſo werden die Bewegungen des Schallmittels gleichſam ſichtbar. (Chladni in Kaſt. Arch. 7. 62.)

426. Man kann durch Kunſt einen Schall ſo modificiren, daß er ſich ohne merkliche Abnahme ſehr weit fortpflanzen läßt. Im Allgemeinen geſchieht dieſes dadurch, daß man die Schallwellen mittelſt Röhren, die glatt genug ſind, um nicht ſelbſt in Schwingungen verſetzt zu werden, oder durch Reibung einen Theil der bewegenden Kraft zu vernichten, abhält, ſich zu erweitern und eine größere Maſſe in Bewegung zu ſetzen. Dieſes bewirken: Das Communicationsrohr, das Sprachrohr und das Hörrohr. Das Communicationsrohr iſt eine beliebig lange, cylindriſche Röhre, in welcher die an einem Ende erregten Schallwellen ſo fortgehen, wie 347 gezeigt wurde, ohne ſich zu erweitern und an Intenſität zu verlieren. Deßhalb hört man am anderen Ende den Schall ſo gut, als wäre er zunächſt am Ohre erregt worden. Das Sprachrohr (Fig. 195) iſt eine coniſche Röhre, in welcher die Schallwellen, die man an der engeren Oeffnung erregt, ſo modificirt werden, daß ſie ſelbſt nach ihrem Austritte in großer Entfernung vom Rohre eine ſtarke Intenſität behalten. Nach Lambert thut eine Röhre, welche einen gemeinen, abgeſtumpften Kegel vorſtellt, dieſe Dienſte, wenn nur zwiſchen beiden Oeffnungen und der Länge ein rechtes Verhältniß herrſcht; nach Anderen verdient ein Kegel, deſſen Wände eine logiſti-

ſche oder hyperboliſche Krümmung haben, den Vorzug. Das Hörrohr (Fig. 196) iſt eine trichterförmige, kurze, meiſtens gebogene Röhre, wodurch die in die weitere Oeffnung eindringende Schallwelle gleichſam verdichtet wird, ſo daß Einer, der dieſes Inſtrument vor das Ohr hält, den in einiger Entfernung erregten Schall ſo gut hört, als wäre er zunächſt am Ohre hervorgebracht. (Siehe Lambert über einige akuſtiſche Inſtrumente. Berlin, 1796.)

427. Das Organ, welches zur Aufnahme hörbarer Eindrücke beſtimmt iſt, nämlich das Ohr, zerfällt in das äußere und das innere Ohr. Das äußere beſteht aus der Ohrmuſchel und aus dem Gehörgange, das innere aus dem Trommelfelle, der Trommelhöhle, dem Labyrinthe und dem Gehörnerv. Die Ohrmuſchel iſt ein knorpeliger muſchelförmiger Anſatz, mit mehreren vertieften und hervorragenden Windungen, welche zu dem Gehörgange führen. Dieſer iſt ein anfangs knorpeliger und am inneren Ende knöcherner Kanal, der durch das Trommelfell geſchloſſen iſt. Hinter dem Trommelfelle beginnt die Trommelhöhle, in welcher ſich die Gehörknöchelchen, der Hammer, der Ambos, der Steigbügel und das runde Knöchelchen des Sylvius befinden. Der Hammer theilt ſich wie ein Winkelhebel in zwei Arme, wovon einer am Ende mit dem Trommelfelle verwachſen, der andere aber in den Ambos eingelenkt iſt. Der Ambos iſt mit ſeiner Spitze durch das Sylviſche Bein (einem linſenförmigen Knöchelchen) mit dem Steigbügel verbunden. Alle dieſe Knöchelchen bilden gleichſam ein Hebelſyſtem, und ſind mit eigenen Muskeln zu ihrer Bewegung verſehen, wovon drei (der Spanner, der große und der kleine Erſchlaffer) zum Hammer gehören, und einer zum Steigbügel. Die Trommelhöhle ſteht durch das ſogenannte ovale und runde Fenſter mit dem Labyrinthe in Verbindung. Das ovale Fenſter iſt durch die Fußplatte des Steigbügels geſchloſſen, das runde Fenſter aber mit einem Häutchen überſpannt, welches auch das zweite Trommelfell heißt. Eine andere Communication hat die Trommelhöhle mit der Mundhöhle durch die Euſtachiſche Ohrtrompete; ſie iſt darum ſtets mit Luft von gleicher Spannung mit der atmoſphäriſchen und von beſtändiger Temperatur verſehen. Das Labyrinth beſteht aus dem mit dem ovalen Fenſter verſehenen Vorhofe, aus den drei halbkreisförmigen, im Vorhofe entſtehenden und wieder dahin zurückkehrenden Kanälen und aus der Schnecke. Dieſe hat 2½ Windungen und iſt der Länge nach durch eine Scheidewand in zwei Theile getheilt, welche Treppen heißen. Die eine derſelben fängt am Vorhofe, die andere am runden Fenſter an. Beide ſind mit Nervenſubſtanz verſehen; übrigens iſt das ganze Labyrinth mit einer wäſſerigen Flüſſigkeit erfüllt. — Außer dem Menſchen haben nur noch mehrere vierfüßige Säugethiere wahre äußere Ohren, bei den im Waſſer lebenden oder jenen, die darin leben können, iſt der Gehörgang mit einer eigenen Klappe verſchloſſen, bei den Vögeln erſetzt die äußerſt regelmäßige Stellung der Federn um den Gehörgang

das äußere Ohr. Die vollkommeneren Thiere, wie die Säugethiere, die Vögel, viele Amphibien, haben ein Trommelfell, die Euſtachiſche Röhre und Gehörknöchelchen. Das Gehörorgan der Fiſche beſteht bloß aus drei ſehr anſehnlichen Bogengängen. Thiere ohne erdige Knochenmaſſe haben wahrſcheinlich kein Gehörorgan.

428. Ueber die Verrichtungen jedes einzelnen Theiles des Gehörorganes iſt man keineswegs ſo in Kenntniß, wie es zu wünſchen wäre. Am wahrſcheinlichſten iſt Folgendes: Die Schallwellen werden von der Ohrmuſchel aufgenommen und wie in einem Hörrohre concentrirt. Nach Savart wird die Muſchel ſelbſt in Schwingungen verſetzt, und hat die Beſtimmung, den ankommenden Schallwellen ſtets dieſelbe Fläche darzubieten, und ſo die Intenſität des Schalles von der Neigung der Schallſtrahlen gegen das Ohr unabhängig zu machen. Der Gehörgang leitet die Schallwelle zum Trommelfelle, das dadurch in Bewegung geſetzt wird und den Schall wahrnehmbar macht, gleichwie ein Blatt feines Papier, das man in der Hand hält, durch ſein fühlbares Zittern die Einwirkung eines Schalles verräth, der ſich unmittelbar dem Taſtſinne nicht verrathen hätte. Die Bewegung des Trommelfelles theilt ſich den kleinen Knöchelchen mit. Um einen leiſern Schall wahrzunehmen, zieht der Spanner das Trommelfell einwärts und die Steigbügelmuskel den Steigbügel gegen das ovale Fenſter; die Schallwelle trifft dann nicht bloß das mehr elaſtiſche Trommelfell, ſondern ſie gelangt auch durch lauter feſte Körper, gleichſam durch Ein Mittel, bis zum Labyrinth, und erleidet daher jene Schwächung nicht, die ſtets eintritt, wenn der Schall von einem Mittel in ein anderes übergehen muß. Um einen ſtarken Schall ohne Nachtheil zu empfinden, ziehen die Erſchlaffer das Trommelfell auswärts und dadurch den Steigbügel vom ovalen Fenſter zurück, ſo daß nun die Schallwelle nicht bloß ein ſchlaffes Häutchen trifft, ſondern auch noch von den Knöchelchen in die Luft und von dieſer wieder in einen feſten Körper übergehen muß, um ins Labyrinth zu gelangen. Daher kann ein ſolcher Schall dem Gehörorgane durch ſeine zu große Intenſität nicht gefährlich werden, wenn er dasſelbe nicht etwa unvorbereitet überraſcht. Die in der Trommelhöhle befindliche Luft bewirkt durch ihre unveränderliche Temperatur, daß alle Theile dieſelbe Elaſticität behalten, und das Ohr die ſchon einmal wahrgenommenen Laute wieder erkennt; es ſcheint auch, als diene ſie zum Mittönen, wie die in einem Reſonanzkaſten eingeſchloſſene Luft. Im Labyrinthe befindet ſich die Schallwelle in einer tropfbaren Flüſſigkeit, die ſelbſt zu tönen vermag, und erfährt beim Fortgange durch die Bogengänge, welche eine heberförmige coniſche Röhre formiren, deren Scheitel nach einwärts gekehrt iſt, eine Verſtärkung, geht aber von dieſer Flüſſigkeit unmittelbar in den Nerv über, welcher in derſelben ſchwimmt, ſich unmittelbar an ſie anſchließt, und daher jene Continuität des Fortpflanzungsmittels bewirkt, die zur Erhaltung einer gewiſſen Schallſtärke unerläßlich iſt.

Auf dem hier vorgezeichneten Wege gelangt zwar die ſchwingende Bewegung in der Regel zum Gehörnerv, allein ſie kann auch durch die

feſten Theile des Körpers dahin gelangen, ohne durch das äußere Ohr zu gehen. Man hört eine Stimmgabel, die man an die Zähne angeſetzt, und Harthörige oder gar Taube können die Töne eines Klaviers wahrnehmen, wenn ſie einen Stab an dasſelbe und zugleich an den Kopf halten. Um Zuhörern von den einzelnen Theilen des Gehörorganes deutliche Vorſtellungen zu verſchaffen, leiſten die in Dresden unter Hofrath Seiler's Leitung von Papaſchny verfertigten, die Naturgröße weit übertreffenden Gipspräparate vortreffliche Dienſte.

Ueber die Lehre vom Schalle (Akuſtik) iſt vorzüglich zu empfehlen und als Repertorium von Chladni's akuſtiſchen Entdeckungen anzuſehen: Chladni's Akuſtik. Leipzig, 1802. 4. Deſſelben neue Beiträge zur Akuſtik. Leipzig, 1817. 4. Noch vortrefflicher iſt die von ihm ſelbſt veranſtaltete franzöſiſche Bearbeitung: *Traité d'Acoustique par E. F. Chladni. Paris* 1809. Kurze Ueberſicht der Schall- und Klanglehre nebſt einem Anhange, die Entwicklung und Anordnung der Tonverhältniſſe betreffend, von E. F. Chladni. Mainz, 1827. Viel Lehrreiches enthält Weber's Wellenlehre, zweiter Hauptheil, ferner die auf dieſen Gegenſtand ſich beziehenden Artikel in den Repertorien von Fechner und Dove und im neuen Gehler'ſchen Wörterbuche.

Naturlehre.

Zweiter Theil.

Von den unwägbaren Stoffen.

Erſter Abſchnitt.

Magnetismus.

Erſtes Kapitel.

Allgemeine magnetiſche Erſcheinungen.

1. Unter den Eiſenerzen findet man einige, welche von Natur aus die merkwürdige Eigenſchaft beſitzen, Eiſen anzuziehen. Man nennt ſie Magnete, und die Kraft, welche ſie auf das Eiſen ausüben, magnetiſche Kraft. Die meiſten derſelben ſind nur im Stande ganz kleine Eiſenmaſſen an ſich zu ziehen und zu tragen; manche derſelben tragen aber Stücke von namhaftem Gewichte. Es läßt ſich weder aus ihrer Größe, noch aus ihrer Geſtalt auf die Stärke ihrer Kraft ſchließen. Starke Magnete findet man ſtets nur am Ausgange eines magnetiſchen Eiſenerzlagers, oder, wie die Bergleute ſagen, zu Tage.

Außer der Kraft, Eiſen anzuziehen, haben die Magnete, jedoch nur im Zuſtande der Bewegung, die Fähigkeit, elektriſche Ströme zu erzeugen. Davon kann erſt in dem folgenden Abſchnitte, wo die Beziehung zwiſchen Magnetismus und Elektricität zur Sprache kommt, gehandelt werden.

2. Die magnetiſche Kraft äußert ſich ſchon in gewiſſer, nach Umſtänden in großer Entfernung vom Magnete mit merklicher Stärke; denn kleine Eiſentheile geben in bedeutenden Diſtanzen die Einwirkung des Magnetes, der ſie unterliegen, zu erkennen. Dieſe Einwirkung findet ſelbſt dann noch Statt, wenn zwiſchen dem Magnete und dem Eiſen ſich andere Subſtanzen befinden, auf die ein Magnet keine merkliche Einwirkung ausübt; doch ſcheint nach Gintl's Verſuchen (Holger's Zeitſchr. 7. 1.) die magnetiſche Kraft hiebei eine Schwächung zu erleiden.

3. Ein Magnet hat nicht an allen Stellen dieſelbe Kraft, ſondern ſowohl die Größe wie auch die Richtung der Kraft ändert ſich, wenn man verſchiedene Stellen des Magnetes nach einander unterſucht. Die Aenderung der Größe der Kraft zeigt ſich dadurch, daß eine Eiſenmaſſe, die an einer Stelle von dem Magnete getragen wird, an einer andern nicht haftet; auch ſchon durch die ungleiche Anhäufung von Eiſenfeile an verſchiedenen Stellen. Auf die Aenderung der Richtung kann man aus dem Umſtande ſchließen, daß ein Stückchen

feinen Eiſendrahtes, welches in eine dünne, mit einem Stiele verſehene Glaskugel eingeſchloſſen iſt, an einigen Orten ſich normal gegen die Fläche des Magnets aufſtellt, an andern aber ſich legt. Erſteres findet an zwei einander entgegengeſetzten Stellen der Oberfläche des Magnetes Statt, wo ſich auch die Eiſenfeile am ſtärkſten anhäuft und die Tragkraft am größten erſcheint. Man pflegt dieſe zwei Stellen die Pole des Magnetes zu nennen. Nur ausnahmsweiſe kommen an demſelben Magnete mehr als zwei ſolche Pole vor, ein Umſtand worüber erſt das Folgende Aufſchluß geben kann.

4. Betrachtet man die Art, auf welche die Eiſenfeile ſich an den Polen eines Magnetes anhäuft, genauer, ſo findet man, daß nicht alle Späne unmittelbar am Magnete ſelbſt, ſondern eine ganze Reihe von Spänen einer an dem anderen hängen. Dieſelbe Erſcheinung zeigt ſich, wenn man ein kurzes Eiſenſtängelchen mit dem Magnete an einem Pole in Berührung bringt. An dieſes Stängelchen läßt ſich ein zweites, und wenn der Magnet ſtark iſt, an letzteres ein drittes, viertes ꝛc., oder doch wenigſtens Eiſenfeile hängen, und dieß geht ſelbſt dann an, wenn das erſte Stängelchen den Magnet nicht unmittelbar berührt, ſondern demſelben nur ſehr nahe ſteht. Es erlangen daher die Eiſenſtängelchen, indem ſie dem Magnete nahe kommen, ſelbſt magnetiſche Kraft. Dieſe Erfahrung bietet ein Mittel dar, die Kraft eines Magneterzes mit größerem Erfolge hervortreten zu laſſen. Man ebnet den Magnet an den Polen ſo, daß zwei einander parallele Flächen entſtehen, und deckt jede derſelben mit einer Eiſenplatte, die in einen dicken zapfenförmigen Fortſatz aus demſelben Metalle, Fuß genannt, ausläuft. Das Ganze ſchließt man in ein meſſingenes oder hölzernes Gehäuſe ein, aus dem die beiden Füße nach derſelben Seite hervorragen. In dieſem Zuſtande heißt der Magnet armirt. Dieſe Füße zeigen nun eine größere Tragkraft als die Polflächen des nicht armirten Magnetes. Legt man gegen die Füße ein Stück weiches Eiſen, das in der Mitte mit einem Haken zur Aufnahme von Gewichten verſehen iſt und Anker heißt, ſo kann man die ſogenannte Tragkraft des armirten Magnetes leicht erproben. Sie nimmt zu, wenn man die Belaſtung in größeren Zeitintervallen nur allmälig vermehrt, ohne ſie bis zum völligen Losreißen des Ankers zu ſteigern. Geſchieht dieſes, ſo trägt der Magnet nicht mehr die Laſt, die er doch vorher zu halten vermochte, erlangt aber nach und nach wieder die vorige Stärke.

5. Mit einem armirten Magnete läßt ſich beſonders gut darthun, daß ein Eiſenſtängelchen, mit einem Fuß des Magnets in Berührung gebracht, nunmehr die Fähigkeit erlangt, Eiſenfeile anzuziehen oder ein anderes Eiſenſtängelchen zu tragen, welches ſeinerſeits dieſelbe Fähigkeit, jedoch in einem geringeren Grade äußert. In Betreff des Vermögens, die ſo erlangte magnetiſche Kraft auch bleibend, d. h. nach der Entfernung vom Magnete zu behalten, beſteht aber ein auffallender und höchſt merkwürdiger Unterſchied zwiſchen reinem (weichen) Eiſen und gehärtetem Stahle (Eiſen in Verbindung mit Kohlenſtoff,

etwa mit 1 Procent). Erſteres, das weiche Eiſen, zeigt in Berührung mit einem Magnetpole kräftigen Magnetimus, verliert ihn aber gänzlich, wenn die Berührung mit dem Magnete aufgehoben wird. Die Stängelchen aus weichem Eiſen, welche, während das erſte derſelben mit dem Magnetpole im Contact ſteht, an einander hängen, fallen aus einander, ſobald das erſte vom Magnete entfernt wird, und erſcheinen dann ſelbſt gegen feine Eiſenfeile ganz indifferent. Bringt man dagegen ein Stängelchen aus gut gehärtetem Stahle oder eine Nähnadel, mit einem Pole eines Magnets in Berührung, zumal wenn man die Nadel ihrer Länge nach ein oder mehrere Male, jedoch ſtets in derſelben Richtung, am Magnetpole vorüber führt (ſtreicht), ſo zeigt das Stängelchen oder die Nadel, auch nach der Aufhebung des Contactes, eine ſelbſtſtändige und bleibende magnetiſche Kraft. Auf dieſe Erfahrung gründet ſich die Anfertigung künſtlicher Magnete (im Gegenſatze mit den bisher betrachteten natürlichen), denen man dadurch, daß man mehrere derſelben zweckmäßig mit einander combinirt, und die ſo verſtärkten Magnete zur Erzeugung anderer verwendet, eine bei weitem größere Kraft zu ertheilen vermag, als die ſtärkſten natürlich vorfindigen Magnete beſitzen. Wir werden daher im Folgenden ſtets vorausſetzen, daß man es mit einem künſtlichen Magnete zu thun habe, der entweder die Form eines geraden oder auch eines hufeiſenförmig gekrümmten Stabes mit gleich langen parallelen Schenkeln haben kann, und vor der Hand uns mit der Annahme begnügen, daß der Stab ſeinen Magnetismus durch Streichen mit einem Magnetpole der Länge nach erhalten habe. Die Pole liegen dann an den Enden des Stabes. Ein dünnes, gerades Magnetſtäbchen, das in einer horizontalen oder verticalen Ebene um eine Axe beweglich iſt, heißt eine Magnetnadel. Im erſteren Falle gibt man der Nadel nicht ſelten ein Hütchen und läßt ſie mittelſt desſelben auf einer Spitze ſchweben (Fig. 197), oder man hängt die Nadel an einem Faden auf.

6. Ein Magnet, der in einer horizontalen Ebene beweglich iſt, richtet ſich immer mit einem Pole gegen Norden, mit dem andern gegen Süden. Deßwegen heißt man jenen den Nordpol, dieſen dem Südpol des Magnetes, und dieſe ſeine Eigenſchaft überhaupt magnetiſche Polarität. Die Verticalebene, in welcher ſich die Pole einer frei hängenden Magnetnadel, als Linie betrachtet, befinden, heißt magnetiſcher Meridian. Vergleicht man dieſen mit dem geographiſchen Meridiane des Beobachtungsortes, ſo findet man, daß beide ſich unter einem Winkel ſchneiden, welcher die Abweichung (declinatio) des Magnetes heißt. Hat man eine Magnetnadel in ihrem Schwerpuncte ſo befeſtiget, daß ſie ſich um eine horizontale Axe drehen kann, ſo bemerkt man, daß ſich ihr Nordpol unter die Horizontalebene hinabſenkt. Der Winkel, welchen ſie mit dem Horizonte macht, wird die Neigung (inclinatio) der Nadel genannt. Eine auf der Richtung einer im Schwerpuncte aufgehängten Magnetnadel ſenkrechte Ebene heißt der magnetiſche Aequator. Die Abwei-

chung ſowohl als die Neigung gibt ſich auch bei jeder anderen Form des Magnetes zu erkennen, ſobald nur die Lage der beiden Pole bekannt iſt, und der Magnet eine hinreichende Beweglichkeit beſitzt; doch kann die ſchärfere Beſtimmung dieſer Begriffe, da ſie jenen der magnetiſchen Axe vorausſetzt, erſt ſpäter gegeben werden.

7. Nähert man dem Nordpole eines hinreichend beweglichen Magnetes den Nordpol eines anderen Magnetes, ſo äußert ſich zwiſchen beiden eine Abſtoßung. Dasſelbe zeigt ſich, wenn der Südpol des einen dem Südpole des andern nahe kommt. Dagegen herrſcht zwiſchen einem Nordpole und einem Südpole Anziehung. Dieſe Erſcheinungen führen zu der Regel: Gleichnamige Magnetpole ſtoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an. Die Pole, welche ſich anziehen, werden auch **freundſchaftliche**, diejenigen, welche ſich abſtoßen, **feindliche** Pole genannt. Vermöge dieſes Geſetzes richten ſich zwei bewegliche Magnete, wenn ſie einander nahe ſtehen, immer ſo, daß ihre ungleichnamigen Pole einander zugewendet ſind. Ein Gleiches zeigt ſich, wenn bloß einer der Magnete beweglich iſt, an der Stellung, die er gegen den fixen Magnet annimmt.

Obiges Geſetz iſt zum Behufe vieler magnetiſcher Spielwerke angewendet worden; es gibt uns aber auch ein ſicheres Mittel an die Hand, zu erkennen, ob ein Körper magnetiſche Kraft beſitze oder nicht. Man darf einen ſolchen nämlich nur einem Magnete, der ſeine vermuthliche Stärke nicht um gar viel übertrifft, nähern, und ſehen, ob bei irgend einem Puncte eine Abſtoßung Statt findet. Nur in dieſem Falle ſind beide Körper magnetiſch. Auf die Anziehung kann man ſich bei dieſer Beurtheilung nicht mit Sicherheit verlaſſen.

8. Das Geſetz, nach welchem die Magnetpole auf einander einwirken, führt bezüglich der beſtimmten Stellung, die eine Magnetnadel gegen die Erde annimmt, ſogleich auf die Vermuthung, daß die Erde dabei wie ein Magnet wirke, und daher die Nadel ſich ſo wende, daß ihre Pole den Polen der Erde, mit welchen ſie befreundet ſind, ſo nahe als möglich kommen. Es iſt leicht einzuſehen, daß der Nordpol eines Magnetes, und falls der Erde wirklich, wie einem anderen Magnete, Pole zukommen, der gegen Norden gelegene magnetiſche Pol der Erde freundſchaftliche, mithin ungleichartige Pole ſind, und daß man daher jenen Südpol nennen ſoll, wenn man dieſen Nordpol heißt. Indeß iſt es in Deutſchland Sitte, den nach Norden gewendeten Pol eines Magnetes Nordpol, den nach Süden gekehrten Südpol zu nennen.

9. Man kann die magnetiſche Natur der Erde noch mehr durch folgende, dem was man bei einem Magnete bemerkt, ganz analoge Erſcheinung bekräftigen: Hält man eine weiche Eiſenſtange in den magnetiſchen Meridian, und gibt ihr eine Neigung gegen den Horizont, welche der Inclination des Magnetes gleicht, ſo lehrt die Erfahrung, daß ſie alſogleich magnetiſche Polarität zeigt, und zwar bekommt das nach Norden gewendete Ende den Nordpol, das entgegengeſetzte den Südpol, verliert dieſe Eigenſchaft aber augenblicklich, ſobald man die Stange aus dieſer Richtung in eine darauf ſenkrechte bringt.

Eigentlich iſt eine Eiſenſtange nur in letzterer Lage ganz ohne magnetiſche Polarität, in jeder anderen beſitzt ſie dieſe in einem deſto größeren Grade, je mehr ſich ihre Richtung der zuerſt genannten nähert, in dieſer iſt ſie am größten. Durch mechaniſche Behandlung, z. B. durch Schlagen, Feilen, Drehen, Winden, ſchnelles Abkühlen ꝛc. wird die Empfänglichkeit für den Magnetismus in dieſer Lage erhöht, und derſelbe oft auch dauernd gemacht.

Die durch den Einfluß der Erde in den magnetiſchen Zuſtand verſetzte Eiſenſtange kann dienen, Stahl durch Streichen an ihr bleibend magnetiſch zu machen, woraus hervorgeht, daß man, ohne im Beſitze eines eigentlichen Magnetes zu ſeyn, dennoch ſich beliebig ſtarke Magnete verſchaffen könne, indem man den Magnetismus der Erde dazu dienſtbar macht. Ein eiſerner Draht erlangt ſchon magnetiſche Kraft, wenn man ihn mit einer Zange hält, die vom magnetiſchen Aequator abweicht, und es bekommt ſein oberes Ende einen Süd-, das andere einen Nordpol. Allein dieſer Magnetismus erlangt eine viel größere Stärke, wenn man den Draht in der genannten Lage ſchlägt, biegt, dreht, ſtreckt, feilt oder ſonſt mechaniſch verändert. Macht man Eiſen rothglühend und löſcht es in lothrechter Lage im Waſſer ab, ſo wird es magnetiſch, und das obere Ende erhält den Süd- das untere den Nordpol. Den ſtärkſten Magnetismus erlangt ein Eiſenſtab, wenn er vertical geſtellt wird, und mit ſeinem unteren Ende auf einer anderen verticalen Eiſenſtange ruht, während man auf das obere mit einem Hammer ſchlägt. (Gilb. Ann. 67. 319; 68. 260.) Bei allen dieſen Operationen iſt es eigentlich der Erdmagnetismus, der magnetiſirend wirkt; die mechaniſche Behandlung des zu magnetiſirenden Körpers disponirt denſelben nur zur leichteren Hervorrufung ſeiner magnetiſchen Kräfte.

10. Eiſen und Stahl ſind nicht die einzigen Subſtanzen, welche in den magnetiſchen Zuſtand verſetzt werden können; man weiß mit voller Sicherheit, daß auch der Nickel dieſelbe Eigenſchaft beſitzt, und ſie ſoll auch dem Kobalt, Chrom und Mangan zukommen. Gewiß iſt es aber, daß ſelbſt Eiſen, Stahl und Nickel nur unter einer gewiſſen Temperatur magnetiſch ſeyen oder es werden können, über dieſer aber nicht (natürlich magnetiſches Eiſenerz nur unter der Rothglühhitze, Eiſen unter der Hellrothgluth, Nickel nahe unter 330° C.), ſo daß man es für wahrſcheinlich halten kann, es gebe für jeden Körper eine gewiſſe Temperatur, unterhalb welcher er, ſo gut wie Eiſen, magnetiſch iſt, oberhalb welcher er aber dieſen ſeinen Magnetismus verliert.

11. In Betreff der Urſache der magnetiſchen Phänomene läßt ſich nach dem gegenwärtigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe nichts vollkommen Gewiſſes ausſagen, ſondern man iſt genöthigt, zu einer hypothetiſchen Erklärung ſeine Zuflucht zu nehmen. Die Meinungen der Phyſiker über dieſen Gegenſtand ſind getheilt. Einige betrachten den Magnetismus als ein elektriſches Phänomen. Die Würdigung dieſer Anſicht ſetzt die Kenntniß der Elektricitätslehre voraus, daher wird erſt in dem folgenden Abſchnitte davon gehandelt werden. Nach der Meinung anderer Phyſiker, die wir hier adoptiren, wird zur Erklärung der magnetiſchen Erſcheinungen die Exiſtenz einer ungemein fei-

nen, unwägbaren (ätheriſchen) Flüſſigkeit angenommen, welche ſelbſt ein Gemenge aus zwei von einander verſchiedenen Theilen iſt, die als beſondere Flüſſigkeiten zu betrachten ſind. Die eine dieſer Flüſſigkeiten mag die nördliche oder poſitive, die andere die ſüdliche oder negative heißen. Keine dieſer Flüſſigkeiten läßt ſich für ſich allein darſtellen, ſie kommen nur mit den materiellen Theilchen der Körper verbunden vor, an welchen ſie ſo haften, das Kräfte, die auf die Theilchen der magnetiſchen Flüſſigkeiten einwirken, auch die Theilchen der Körper in Bewegung bringen können. Derlei Kräfte gehen nur von den Theilchen der magnetiſchen Flüſſigkeiten ſelbſt aus; die Theilchen, welche zu derſelben Art Flüſſigkeit gehören, ſtoßen nämlich einander ab; die Theilchen ungleichnamiger Flüſſigkeiten dagegen ziehen einander an. Es wird, um aus den Principien dieſes Syſtems die magnetiſchen Erſcheinungen ſo wie ſie ſind ableiten zu können, vorausgeſetzt, daß jeder Körper, auf welchen ein Magnet einzuwirken oder der ſelbſt magnetiſche Kräfte zu äußern vermag, eben ſo viel von der nördlichen Flüſſigkeit wie von der ſüdlichen enthalte. Die Menge eines ſolchen Fluidums läßt ſich nur nach der bewegenden Kraft beurtheilen, die es auszuüben vermag. Gleiche Mengen ſind diejenigen, welche in gleichen Abſtänden von einem dritten Quantum magnetiſcher Flüſſigkeit, auf letzteres mit gleichen Kräften wirken. So lange beide magnetiſchen Flüſſigkeiten gleichförmig gemengt ſind, findet keine Aeußerung des Magnetismus Statt, denn die Action der Theilchen des einen Fluidums wird durch die gleiche und entgegengeſetzte Action der Theilchen des anderen aufgehoben. Sobald aber die Gleichförmigkeit der Mengung geſtört iſt, tritt der magnetiſche Zuſtand ein. Man iſt jedoch genöthiget ſich vorzuſtellen, daß die Aenderungen, welche in der Anordnung der magnetiſchen Flüſſigkeiten vor ſich gehen können, ſich nicht über den Bereich der kleinſten Partikel der Körper erſtrecken, an welchen die magnetiſchen Flüſſigkeiten haften, daß alſo kein Uebergang dieſer Flüſſigkeiten von einem Körpertheile zum andern, noch viel weniger von einem Körper in einen andern möglich ſey. Wird die Exiſtenz der magnetiſchen Flüſſigkeiten zugegeben, ſo iſt die Gleichheit der Mengen des poſitiven und negativen Fluidums in jedem Körper eine nothwendige Folge des Umſtandes, daß das Gewicht eines Körpers durch das Magnetiſiren deſſelben keine Aenderung erfährt. Das Gebundenſeyn der Flüſſigkeiten an den Körper, worin ſie ſich befinden, wird dadurch bewieſen, daß ein Magnet nichts von ſeiner Kraft verliert, wenn man andere Körper durch ihn magnetiſch macht; endlich daß die Trennung der magnetiſchen Flüſſigkeiten bloß innerhalb eines kleinſten Körpertheilchens erfolgt, zeigt ſich dadurch, daß die Theile, in die man ein magnetiſirtes Stahlſtück zerſchneidet, jeder für ſich als ein vollſtändiger Magnet mit zwei Polen erſcheint. Die Größe eines magnetiſchen Elementes, d. i. des Raumes, innerhalb deſſen die Trennung der magnetiſchen Flüſſigkeiten vor ſich geht, hängt von der Natur der Körper und von ihrer Temperatur ab. Die Trennung der zwei magnetiſchen Flüſſigkeiten in einem Elemente erfolgt nicht

bei allen Körpern mit gleicher Leichtigkeit; aber je leichter dieſe Trennung erfolgt, deſto leichter geht auch ihre Wiedervereinigung von Statten. Man nennt die Kraft, welche ſich der Trennung widerſetzt, Coercitivkraft; bei dem weichen Eiſen iſt ſie gering, bei dem Stahle groß. Die Anziehung eines magnetiſchen Körpers gegen einen unmagnetiſchen wird ſonach bloß dadurch bewirkt, daß die geringe Coercitivkraft des letzteren eine Sonderung der magnetiſchen Flüſſigkeiten unter dem Einfluſſe des magnetiſchen Körpers geſtattet, der unmagnetiſche Körper alſo zuerſt magnetiſch wird, und daher die frühere Gleichheit der entgegengeſetzten Wirkungen des magnetiſchen auf die Flüſſigkeiten des unmagnetiſchen jetzt nicht mehr Statt findet. Man ſollte dem gemäß nicht ſagen, der Magnet ziehe das Eiſen an, ſondern jener mache dieſes zum Magnete, woraus dann die Anziehung von ſelbſt folgt. Uebrigens wenn auch derlei Folgerungen aus den vorausgeſchickten Prämiſſen den Charakter der Nothwendigkeit an ſich tragen, darf man doch nicht vergeſſen, daß die Annahme magnetiſcher Flüſſigkeiten als Grundlage des Ganzen bloße Hypotheſe ſey, die man nur zur Erleichterung der Ueberſicht der magnetiſchen Phänomene aufſtellt. Will man den Gebrauch jeder Hypotheſe vermeiden, ſo muß man ſich begnügen bei dem Satze ſtehen zu bleiben, daß jeder Magnet als ein Inbegriff magnetiſcher Theilchen von verſchwindenden Dimenſionen erſcheint, die an entgegengeſetzten Stellen entgegengeſetzte Kräfte äußern, ohne ſich weiter in eine Erklärung des Entſtehens eines ſolchen Zuſtandes der kleinſten Theile einzulaſſen.

Nach der hier aufgeſtellten Anſicht über den inneren Verlauf der magnetiſchen Phänomene wird zum Magnetiſchwerden eines Körpers erfordert, daß er das magnetiſche Princip in ſich enthalte, und daß es in ſeine zwei ungleichartigen Beſtandtheile getrennt werden könne. Wenn auch ein Körper durch das gewöhnliche Verfahren nicht magnetiſch wird, ſo darf man ihm darum das magnetiſche Princip noch nicht abſprechen; denn ſeine Coercitivkraft kann ja ſo groß ſeyn, daß unſere gewöhnlichen Mittel nicht im Stande ſind, die Trennung des magnetiſchen Princips in den magnetiſchen Elementen zu bewerkſtelligen.

Zweites Kapitel.

Erzeugung künſtlicher Magnete.

12. Obgleich ein des Magnetismus fähiger Körper ſchon durch bloße Lage gegen die Erde oder gegen einen Magnet, dann, wie ſpäter gewieſen wird, durch einen elektriſchen Strom und vielleicht auch durch Einwirkung des Sonnenlichtes in den magnetiſchen Zuſtand, nach Maßgabe ſeines Coercitivvermögens vorübergehend oder dauernd verſetzt werden kann, ſo iſt doch das Streichen gerader oder krummer Stäbe aus gutem Stahle mit bereits vorhandenen künſtlichen Magneten ein vorzugsweiſe bequemes Mittel, künſtliche Magnete von beliebiger Stärke zu Stande zu bringen. Man unterſcheidet hiebei, je nachdem das Streichen bloß mit einem oder gleichzeitig mit zwei Mag-

netpolen vollzogen wird, den einfachen und den Doppelſtrich. Eine beſondere Modification des letzteren heißt Kreisſtrich. Wir werden hier zunächſt dieſe Verfahrungsarten an geraden Stäben erläutern; krumme Stäbe, denen man in der Regel die Form eines Hufeiſens mit parallelen Schenkeln gibt (Fig. 198), laſſen ſich nach Umſtänden, theils als ein Stab, theils als eine Verbindung zweier Stäbe betrachten, und geſtatten ſonach die Anwendung aller die geraden Stäbe betreffenden Operationen. Ein Verfahren, welches Magnetismus hervorruft, tilgt ihn wieder, wenn es im entgegengeſetzten Sinne angewendet wird. Man nennt dieſes das Entmagnetiſiren.

13. Der einfache Strich in ſeiner ſimpelſten Form beſteht darin, daß man einen Pol eines Magnetes auf das eine Ende eines geraden Stahlſtabes ſetzt, und ihn in einem Zuge gegen das andere Ende hin und da entweder ſeitwärts abzieht oder über das Ende hinaus führt, ein Verfahren, das man mehrere Male wiederholen kann, indem man jedesmal den abgezogenen Pol in der Luft an ſeine urſprüngliche Stelle zurückbringt. Iſt AB (Fig. 199) der zu magnetiſirende Stab, und führt man den Nordpol eines Magnetes von A gegen B hin, ſo zeigt ſich bei A ein Nord- und bei B ein Südpol. Dieſelbe Anordnung der Pole bekommt man, wenn man bei B den Südpol des Streichmagnetes aufſetzt, und ihn gegen A führt. Wollte man den von A nach B bewegten Nordpol wieder von B nach A im Contacte mit dem Stabe zurückführen, ſo würde der durch den vorhergehenden Strich hervorgerufene Magnetismus wieder ganz oder zum Theile aufgehoben, oder durch einen ſchwachen entgegengeſetzten erſetzt werden, alſo jedenfalls nur ein unzureichendes Reſultat zum Vorſchein kommen. Die Beſchaffenheit der Pole nach verrichtetem Streichen erkennt man mit Hülfe einer leicht beweglichen Magnetnadel, die hier die Probenadel heißt. Man kann jedoch den einfachen Strich auch ſo verrichten, daß man einen Pol des Streichmagnetes auf die Mitte des zu magnetiſirenden Stabes aufſetzt, ihn gegen ein Ende deſſelben hinführt und daſelbſt abzieht. Dieſes Verfahren wiederholt man öfters, ohne aber je die Stange vom Ende gegen die Mitte zu ſtreichen. Hierauf ſetzt man den anderen Pol des Streichmagnetes auf die Mitte des zu erzeugenden Magnetes, und ſtreicht mit demſelben gegen das andere Ende hin, ohne je einmal umgekehrt zu ſtreichen. Da erhält nun jede Hälfte eine Polarität, welche der des aufgeſetzten Poles entgegen geſetzt iſt. Der einfache Strich iſt nicht geeignet einem nur etwas ſtarken Stabe ſo viel Magnetismus zu ertheilen, als dieſer aufzunehmen vermag; und nicht ſelten entſtehen bei ungleichförmiger Beſchaffenheit des Stabes oder bei ungleichförmigem Streichen Zwiſchenpole oder Folgepuncte.

Der einfache Strich kann mit Vortheil in Anwendung kommen, wenn man ein Stahlblech nur an beſtimmten Stellen magnetiſiren will. Nimmt man einen Magnet, der an einem Ende abgerundet iſt, und zeichnet mit demſelben auf einem rein geſcheuerten Stahlbleche Figuren, ſo nimmt dieſes an den geſtrichenen Stellen Magnetismus an,

und man kann die Figuren ſogar durch aufgeſtreute Eiſenfeile ſichtbar machen, und ſie bleiben es oft Monate lang. (Haldat in Zeitſchr. 7. 367.)

14. Es iſt nach der oben (11) entwickelten Hypotheſe nicht ſchwierig ſich eine theoretiſche Vorſtellung von dem Hergange bei dem ſo eben erklärten Magnetiſirungsverfahren zu bilden. Wird ein Magnetpol irgendwo auf einen unmagnetiſchen Stahlſtab aufgeſetzt, ſo trennt er daſelbſt die magnetiſchen Flüſſigkeiten in den benachbarten Körpertheilchen, zieht das mit der Wirkungsart des Poles ungleichnamige Fluidum an, ſtößt das gleichnamige zurück, und auf dieſe Weiſe geſtaltet ſich die Anordnung der magnetiſchen Flüſſigkeiten ſo, als ob unter dem aufgeſetzten Pole ſich ein ungleichnamiger Pol des Stabes befände, zu beiden Seiten von ihm hin aber gleichnamige Pole vorhanden wären. Dieß findet man in der That mit der Probenadel, wenn der aufgeſetzte Pol einem ſehr kräftigen Magnete angehört, nachdem man denſelben vom Stabe entfernt hat; denn ſo lange der Pol am Stabe haftet, waltet der Magnetismus deſſelben vor. Bewegt man den aufgeſetzten Pol nach einer Richtung, ſo ändert ſich die Anordnung der magnetiſchen Flüſſigkeiten an den Stellen, die der Pol verläßt, gleichſam als ob ſich die magnetiſchen Elemente herumdrehten, um dem Pole die Seite zuzukehren, welche von ihm angezogen wird, und die, welche er abſtößt, von ihm abzuwenden. Die zuletzt beſtehende Anordnung bleibt in Folge der Coercitivkraft des Stahles, und der Erfolg iſt kräftiger, als wenn der Pol des Streichmagnetes bloß an einem Ende aufgeſetzt worden wäre, weil die Trennung der magnetiſchen Flüſſigkeiten in einem Stoffe von bedeutender Coercitivkraft um ſo ſchwächer ausfallen muß, je weiter die Theilchen von der trennenden Urſache entfernt ſtehen; kommt aber, wie es bei dem Streichen geſchieht, der Magnetpol ihnen möglichſt nahe, ſo erreicht die Scheidung der entgegengeſetzten Flüſſigkeiten in jedem Elemente den höchſten Grad, der unter den obwaltenden Umſtänden möglich iſt, und es werden die geſonderten Flüſſigkeiten durch die Aenderung der Stellung des Magnetpoles nur anders geſtellt, ohne ſich vereinigen zu können.

Wenn hier von dem Pole des Streichmagnetes ſo geſprochen wird, als ob die magnetiſirende Kraft von ihm ausginge, ſo iſt dieß nur eine Abkürzung der Rede. Jedenfalls iſt es der geſammte Streichmagnet, der wirkt; allein hier wird nur auf die reſultirende Action geſehen. Aber gerade wegen des Antheiles, den der ganze Streichmagnet an dem Erfolge hat, iſt es nicht gleichgiltig, in welcher Stellung er ſich bei dem Aufſetzen des Poles befindet, und es kann eine gegen die Richtung der Bewegung hin geneigte Lage einen größeren Effect herbeiführen.

15. Das Weſentliche des **Doppelſtriches** beſteht darin, daß man auf die Mitte des zu magnetiſirenden Stabes die entgegengeſetzten Pole zweier Magnete ſenkrecht, oder wie es vortheilhafter zu ſeyn ſcheint, geneigt aufſtellt, und ſie nach derſelben (auch nach entgegengeſetzter) Richtung mit ſtarker Reibung längs jenes Stabes wieder-

holt, hin (auch zurück) führt, zuletzt aber an den Enden (oder auch in der Mitte) abhebt. Hier erhält jedes Ende des Stabes den Magnetismus, welcher jenem des ihm zuletzt beim Streichen zugeführten Poles des Streichmagnetes entgegengeſetzt iſt (oder mit jenem des davon zuletzt ſich entfernenden Poles übereinſtimnt). Es iſt dabei vortheilhaft, Eiſenmaſſen an die Enden des zu magnetiſirenden Stabes zu legen, oder wohl gar ſtarke Magnetpole, die denen, welche daſelbſt entſtehen ſollen, entgegengeſetzt ſind. Hoffer hat gelehrt, hiezu die allmälig wachſende Kraft der eigenen Pole der zu ſtreichenden Stäbe zu benützen, indem man ſelbe durch Anker von weichem Eiſen unter einander in Verbindung ſetzt. Um nach dieſer Methode einen hufeiſenförmigen Stab A (Fig. 200) zu magnetiſiren, legt man ihn auf einen Tiſch, bringt an die beiden Endflächen deſſelben den Anker B, und ſetzt den ebenfalls hufeiſenförmigen Streichmagnet C mit jedem Pole auf einen Schenkel des Hufeiſens, und zwar ſo nahe als möglich am Anker und in aufrechter Stellung. In dieſer führt man ihn in gleichmaßigem Zuge und mit unverändertem Drucke parallel zu den Schenkeln des Hufeiſens, bis über die Wölbung deſſelben hinaus, und wieder, ohne das Hufeiſen zu berühren, zurück. Nach mehreren Strichen dieſer Art hat der Stab ſchon das Maximum der Kraft, der er fähig iſt, angenommen, und zwar hat jeder Schenkel die mit dem aufgeſetzten Pole des Streichmagnetes gleichnamige Polarität. Man kann auch umgekehrt verfahren, den Streichmagnet mit beiden Polen auf die Schenkel des Hufeiſens an der Wölbung aufſetzen (Fig. 201), gegen die Endflächen deſſelben hinſtreichen, und den Streichmagnet über denſelben hinausführen, wobei es gerade nicht weſentlich iſt, daß der Anker vorgeſetzt werde. Da erhält jeder Schenkel des Hufeiſens die dem aufgeſetzten Pole entgegengeſetzte Polarität, und man kann daher mittelſt dieſer Methode den, mittelſt der vorhergehenden erzeugten Magnetismus aufheben oder die Pole umkehren. Hat man zwei gerade Stäbe nach Hoffer's Methode zu magnetiſiren, ſo verfährt man ſo: Man legt ſie in paralleler Lage auf einen Tiſch, verbindet ihre Endflächen mit zwei Ankern, und ſetzt einen Hufeiſenmagnet mit ſeinen Polen in aufrechter Stellung in der Nähe eines Ankers auf die zwei Stäbe (Fig. 202). Hierauf führt man den Streichmagnet in gleichmäßigem Zuge gegen das andere Ende hin und ſogar über daſſelbe hinaus, führt ihn aber, ohne die Stäbe zu berühren, wieder auf die erſte Stelle zurück, und wiederholt dieſes Verfahren einige Male. Die Stellen, wo die Pole aufgeſetzt wurden, erhalten eine dem betreffenden Pole gleichnamige Polarität. Man kann auch zwei Hufeiſenmagnete auf einmal auf ſolche Stangen und zwar entweder beide in der Mitte der Stangen aufſetzen, oder jeden in die Nähe eines Ankers, aber immer ſo, daß derſelbe Stab zugleich von zwei ungleichartigen Polen berührt wird. Im erſteren Falle zieht man die Magnete in entgegengeſetzter Richtung gegen die Anker hin und über ſie hinaus, im letzteren gegen die Mitte hin und dann quer über die Stange weg. Hat man mehrere Paare gleicher Stäbe zu magnetiſiren, ſo kann man

deren mehrere der Länge nach an einander legen, ſo daß ſie zwei verlängerte Stangen formiren, die ſich durch Anker verbinden und ſo magnetiſiren laſſen, als hätte man es nur mit zwei Stangen zu thun. (Hoffer in Zeit. n. F. 2. 197; 3. 193.)

Der Doppelſtrich iſt zuerſt im Jahre 1745 von Knight angewendet worden, und zwar ſo, daß man die zu magnetiſirende Stange horizontal auf einen Tiſch legt, darauf nach der Länge zwei Streichmagnete ſetzt, deren entgegengeſetzte Pole einander faſt in der Mitte des Stabes berühren, und dieſe Pole von einander entfernt, indem man ſie in entgegengeſetzter Richtung längs der Unterlage aus einander zieht. Kurze, nicht gar dicke Stäbe laſſen ſich auf ſolche Weiſe vollkommen magnetiſiren, langen Stäben iſt aber dieſes Verfahren nicht gewachſen. Duhamel verbeſſerte es dadurch, daß er die zu magnetiſirende Stange zwiſchen zwei Stäben aus weichem Eiſen anbrachte, und die Streichmagnete unter einem Winkel von 25—30° auf ſie ſtellte, übrigens aber ſie wie Knight hin und her führte. Mitchell nahm zum Streichen nicht einzelne Magnetſtäbe, ſondern aus mehreren ſolchen beſtehende Bündel, ſtellte zwei ſolche mit ihren entgegengeſetzten Polen in einiger Entfernung von einander ſenkrecht auf den zu magnetiſirenden Stab, und führte ſie ſo gegen das eine und dann gegen das andere Ende jenes Stabes hin. Aepinus brachte an die Enden dieſes Stabes die entgegengeſetzten Pole zweier ſtarken Magnete, wendete aber wie Mitchell Magnetbündel zum Streichen, jedoch nicht in ſenkrechter ſondern in geneigter Lage an. Außer den vorgenannten iſt noch Mohr's Verfahren zu erwähnen. Dieſes bezieht ſich unmittelbar nur auf hufeiſenförmige Stäbe, kann aber leicht auf gerade angewendet werden. Es unterſcheidet ſich von jenem Hoffer's, wo der Streichmagnet von der Wölbung des Hufeiſens gegen deſſen Enden hin geführt wird, nur dadurch, daß man, bevor der Streichmagnet vom Hufeiſen abgezogen wird, erſt dem Hufeiſen einen zweiten Anker auflegt, und dann den Magnet mit dem früher vorgeſetzten Anker abzieht, ſo daß ſtets beide Hufeiſen geſchloſſen bleiben. (Mohr in Pogg. Ann. 36. 542.) Nach Moſer's vergleichenden Verſuchen ſteht für zu magnetiſirende Stäbe Mohr's Verfahren dem von Hoffer nach, beide ſollen aber von dem Mitchell'ſchen Doppelſtriche übertroffen werden. (Dove's Repertorium der Phyſik 2. 141.)

16. Merkwürdig iſt die Veränderung, welche der Magnetismus eines geraden oder hufeiſenförmigen Stahlſtabes während des Streichens erleidet: Setzt man auf ein Hufeiſen, dem der Anker vorgelegt iſt, einen Streichmagnet, ſo wie Fig. 200 zeigt, ſo haftet der Anker augenblicklich feſt, und jedes Ende hat die Polarität des darauf geſetzten Poles. Führt man den Streichmagnet gegen die Wölbung hin, ſo nimmt der Magnetismus jedes Schenkels ab, ohne jedoch ſeine Polarität zu ändern, und erlangt ein Minimum, wenn der Streichmagnet in einer gewiſſen Entfernung von den Endflächen ſteht. Hat das Hufeiſen durch wiederholtes Streichen gegen die Wölbung hin das Maximum ſeiner Kraft erreicht, ſo findet man ſtets in der Nähe der Wölbung an jedem Schenkel einen Folgepunct. Anders iſt es, wenn der Streichmagnet an der Wölbung aufgeſetzt, und das Streichen von da gegen die Enden vollführt wird (Fig. 201). Da hält, wenn der Streichmagnet aufgeſetzt iſt, der Anker noch gar nicht feſt, und man bemerkt erſt ein Feſthalten

desſelben, wenn man mit dem Streichen gegen die Ankerflächen zu auf eine gewiſſe Stelle gekommen iſt, und dieſes Feſthalten nimmt zu, ſo wie man den Streichmagnet von da den Enden zuführt. Zieht man den Magnet in der Nähe der Endflächen weg, ſo nimmt die magnetiſche Kraft des Hufeiſens während des Wegziehens raſch ab, und iſt, wenn der Streichmagnet das Hufeiſen nur mehr an wenigen Puncten berührt, ganz verſchwunden, ſo daß der Anker von ſelbſt wegfällt, kehrt aber mit neuer Stärke augenblicklich zurück, ſobald der Streichmagnet ganz weggezogen iſt. Dieſes Spiel der Kräfte iſt das Reſultat der gemeinſchaftlichen Wirkung des Streichmagnets, des magnetiſchen Hufeiſens und des Ankers. (Hoffer in Zeitſchr. n. F. 2. 360.)

17. Bei dem Kreisſtriche werden vier Stahlſtäbe, oder zwei Stahlſtäbe und zwei Eiſenſtäbe abwechſelnd ſo gelegt, daß ſie ein Quadrat bilden, oder auch zwei Hufeiſen zu einem Oval an einander geſchoben, und auf dieſem zwei ungleichnamige Magnetpole, allenfalls die eines Hufeiſens, mehrmal rings herum geführt. Es läßt ſich dieſes Verfahren ſogar auf ein einzelnes Hufeiſen mit vorgelegtem Anker anwenden. Man zieht die Streichpole an einer Verbindungsſtelle zweier Stäbe auf beiden ab.

Wenn man mehrere Magnetſtäbe durch einen Ring in der Richtung ſeiner Halbmeſſer ſtreckt, ſo daß die ungleichnamigen Pole einander gerade gegenüberſtehen und einen kleinen Raum zwiſchen ſich übrig laſſen; ſo kann man durch dieſen einen Eiſenſtab oder einen Draht durchziehen und ihn dadurch magnetiſiren. Auf dieſe Weiſe erhält derſelbe nach ſeiner Länge ſo viele Pole, als man Magnetſtangen angewendet hat, und jeder derſelben erſcheint als eine mit der Axe parallele Linie. Ein ſolcher Magnet iſt dann ein Transverſalmagnet.

18. Die Stärke eines ſo erzeugten Magnetes hängt bei ſonſt gleichen Umſtänden von der Kraft der Streichmagnete und von der materiellen Beſchaffenheit, Homogeneität, Geſtalt und Größe der zu magnetiſirenden Stange ab. An und für ſich kann man mit einem ſchwachen Streichmagnete wieder nur ſchwache magnetiſche Kräfte wecken, allein durch Verbindung ſchwacher Magnete, die man mit ihren gleichnamigen Polen an einander legt, gewinnt man einen ſtärkeren Streichmagnet, mit dem ſich die vorhandenen Magnete verſtärken laſſen, und kann hierin beliebig weit gehen. Gerade Stäbe verbindet man mit ihren gleichnamigen Polen zu einem einzigen Bündel, und gibt ihnen durch Anlegen von Platten aus weichem Eiſen mit vorſtehenden Füßen (4) eine Armatur (Fig. 203). Verbindet man mehrere hufeiſenförmig gebogene Stäbe, ſo pflegt man eine ungerade Anzahl zu nehmen, und dem mittleren die größte Länge und Dicke zu geben, die Länge und Dicke der äußeren aber ſtufenweiſe abnehmen zu laſſen (Fig. 204). Eine kräftige Verbindung mehrerer einzelnen Magnete nennt man eine magnetiſche Batterie, auch wohl ein magnetiſches Magazin.

Knight's berühmtes magnetiſches Magazin, jetzt ein Eigenthum der königl. Societät zu London, beſteht aus 450 Stäben, deren jeder 15 Zoll

(engl.) lang, 1 Z. breit und ½ Z. dick iſt. Es wiegt etwa 10 Centner und hat eine Tragkraft im Minimum von 100 Pfund.

19. Die Stäbe, welche zu Magneten beſtimmt ſind, ſollen aus feinkörnigem, gleichartigen und durchaus gleichmäßig harten Stahle beſtehen, und an der Oberfläche glatt gefeilt oder gar geſchliffen ſeyn. Zu große Härte iſt der Empfänglichkeit für den Magnetismus, zu geringe Härte der Dauer deſſelben nachtheilig. Eiſenadern, Unterbrechungen der Continuität und der Gleichartigkeit benehmen dem Stahle die Empfänglichkeit für ſtarken Magnetismus. Gut iſt es, wenn die Breite eines Stabes ein Mehrfaches ſeiner Dicke und letztere überhaupt nicht bedeutend, jedoch auch nicht unter ¼ Z. iſt. Bei Hufeiſen ſollen die Schenkel möglich parallel und enge an einander gebogen ſeyn. Der Anker ſoll aus weichem Eiſen beſtehen, der Größe des Magnetes angemeſſen ſeyn, und ſich gut, wenn auch nur in einer Linie, an die Polflächen anſchließen. Man hat ſogar angewieſen, ihn an die Magnetenden anzuſchleifen. Gerade Stangen tragen ſelten mehr als ihr eigenes Gewicht, Hufeiſen oft das zehnfache deſſelben.

Magnete von einigen Granen tragen oft mehr als das 50fache ihres eigenen Gewichtes, Magnete von 1—2 Pfund kaum das Zehnfache deſſelben. Cavallo ſah einen Magnet, der 7 Gr. wog und doch 300 Gran trug. Ein Magnet, der 3 Gr. wog, trug armirt 1032 Gran, ein anderer von 1 Gr. Gewicht trug armirt 764 Gr. Der größte der bekannten armirten Magnete befindet ſich im Taylor'ſchen Muſeum; er wiegt ſammt der Armatur 307 Pfd. und trägt 230 Pfd. Mohr verſah einen Magnet mit einem Anker, der einerſeits flach, andererſeits halbcylindriſch gewölbt war. Mit der flachen Seitenwand anliegend trug er 20 Pfd., mit der gewölbten 31¼ Pfd. Nobili fand, daß zwei vollkommen gleiche Stahlſtäbe, deren einer maſſiv, der andere der Länge nach durchbohrt, alſo hohl war und weniger Maſſe hatte als der erſtere, ungleiche Kräfte durch Streichen annahmen. Im Zuſtande der Sättigung verhielt ſich die Tragkraft des maſſiven Stabes zu jener des hohlen, wie 95 : 190. Es beſteht zwiſchen der Tragkraft eines Hufeiſens, das mit vorgelegtem Anker magnetiſirt wurde, ein großer Unterſchied ehe der Anker abgeriſſen wird, und nach der Trennung deſſelben vom Magnete. Im letzteren Falle ſinkt die Tragkraft bedeutend, erhält ſich aber dann auf einerlei Stufe. Um einen Magnet zu erhalten, deſſen Anker ſehr ſtark haftet, muß man mehrere Hufeiſen, jedes mit ſeinem noch nicht weggenommenen Anker an einander legen, und ſodann die Anker, bis auf den in der Mitte, wegnehmen. Nach Entfernung des letzteren ſinkt die Tragkraft des zuſammengeſetzten Magnets auf eine conſtante Größe herab. Vereinigt man mehrere Hufeiſenlamellen, die auf ihre conſtante Kraft, welche ſie durch Abnehmen des Ankers nicht weiter verlieren, gebracht worden ſind, z. B drei Lamellen, und man nimmt ſelbe, nach Abreißen des Ankers von der mittleren, aus einander, ſo zeigt ſich die Kraft der Mittellamelle ausnehmend geſchwächt.

20. Eine beſonders wichtige Anwendung findet die Erzeugung künſtlicher Stahlmagnete bei der Conſtruction der Magnetnadeln. Dieſes unvergleichliche Werkzeug zeigt nicht bloß dem Schiffer zur See die Himmelsgegenden, iſt bei einem bewölkten Himmel ſein vorzüglich-

ſter Führer, dient dem Geometer bei Meſſungen unter der Erde oder durch Wälder zum Winkelmeſſer und Führer, und leiſtet überhaupt die beſten Dienſte, wenn Gegenſtände, z. B. Sonnenuhren, Meßtiſche ꝛc. nach beſtimmten Richtungen geſtellt werden ſollen, ſondern es iſt, in Folge neuerer Fortſchritte der Naturlehre, auch dem Phyſiker bei dem Studium der Phänomene der Elektricität und der Wärme ein unentbehrliches Hilfsmittel geworden. Man gibt einer Magnetnadel häufig die Geſtalt eines vierkantigen Prisma's oder eines ſchmalen und verhältnißmäßig langen Rhombus. Sie wird aus Uhrfederſtahl bereitet, bei der Rothglühhitze gehärtet und dann temperirt, indem man ſie von der Mitte aus bis zu einem Zolle von jedem Ende anlaufen läßt, bis die blaue Farbe wieder verſchwindet. Die Politur hat auf die magnetiſche Capacität einer ſolchen Nadel keinen Einfluß. Ihre Richtkraft wächſt im Verhältniß ihrer Länge und Maſſe. Meiſtens unterſcheidet man ihre Pole durch die Farbe, oft auch durch ihre Geſtalt. Man kann Magnetnadeln auch aus Nickel, ja nach Lampadius ſogar aus einer Legirung von Platin oder Gold und Nickel machen, welche vor den ſtählernen den Vorzug haben, daß ſie nicht ſo leicht roſten. In manchem Falle iſt eine Magnetnadel von Nutzen, welche ſich nur in der Ebene des magnetiſchen Aequators bewegen kann, und darum aſtatiſch heißt. Sie wird vom Erdmagnetismus nicht afficirt, und bleibt in jener Ebene in jeder Richtung ſtehen, wenn ihr Schwerpunct in die Drehungsaxe fällt. Ampère hat eine ſolche Nadel angegeben, Fig. 205 ſtellt ſie vor; Schmidt hat ſie vereinfachet (Gilb. Ann. 70. 243). Man kann ſich aber auch eine Nadel verſchaffen, die bei jeder Abweichung vom magnetiſchen Meridiane in Ruhe bleibt, und deßhalb auch aſtatiſch genannt zu werden verdient, wenn man zwei gleich ſtarke Magnetnadeln mit einander unveränderlich ſo verbindet, daß ihre ungleichnamigen Pole nach derſelben Gegend hin gerichtet ſind, wie Fig. 206 und Fig. 207 zeigen.

Drittes Kapitel.

Geſetze der Wirkungen magnetiſcher Kräfte.

21. Ein Magnet erfährt ſowohl von der Erde, wie auch von einem andern Magnete, ſey es nun ein bleibender, oder ein durch den Einfluß des Magnetes auf weiches Eiſen erſt erzeugter, eine Einwirkung, die ſich nach den Regeln beurtheilen läßt, welche die Statik für die Zuſammenſetzung der Kräfte darbietet. Man betrachtet zu dieſem Behufe den Magnet als einen Inbegriff von kleinſten magnetiſchen Theilchen oder Elementen, an deren jedem man zwei Hälften, oder wenn man lieber will, Puncte von entgegengeſetzter Kraftäußerung gegen jeden mit Magnetismus begabten Punct, die beiden Pole des Elementes, unterſcheidet, und ſucht die Totalwirkung ſämmtlicher entgegengeſetzten, von den Elementen ausgeübten Kräfte.

22. Da das Gewicht eines Stahlſtabes durch das Magnetiſchmachen nicht geändert wird, aber derſelbe ein Beſtreben bekommt, eine beſtimmte Lage, nämlich jene der Inclination anzunehmen, ſo muß wohl die Erde auf den Stab mit zwei gleichen und nach parallelen Richtungen entgegengeſetzten Kräften einwirken, denn nur ſo iſt es möglich, daß die magnetiſche Erdkraft keine progreſſive, wohl aber eine drehende Bewegung erzeuge. Dieſe Kräfte ſind das Reſultat der gleichen und entgegengeſetzten Einwirkungen der Erde auf die Pole jedes magnetiſchen Elementes, welchen Kräften man wegen der Größe der Dimenſionen der Erde im Vergleiche gegen die uns zu Gebote ſtehenden Magnete, auch wenn ſie zweien von einander entfernten Elementen angehören, ſo wie es bei Betrachtung der Schwerkraft geſchieht, parallele Richtungen und für einerlei Quantitäten der magnetiſchen Flüſſigkeiten auch gleiche Größen beilegen darf. Es ſeyen nun ns, $n's'$, $n''s''$ u. ſ. w., Fig. 208, Elemente eines Magnetes; m die Quantität des freien nördlichen Fluidums in ns, das wir der Einfachheit wegen im Puncte n concentrirt denken, und folglich die Quantität des in s vereinigten ſüdlichen Fluidums eben ſo groß, welche wir daher mit $-m$ bezeichnen, und eine gleiche Bedeutung mögen auch m', m'',.. bezüglich der Elemente $n's'$, $n''s''$,.. haben. Legen wir der magnetiſchen Erdkraft diejenige Kraft als Einheit zum Grunde, welche auf die nach Belieben gewählte Quantitätseinheit nördlichen oder ſüdlichen Fluidums mit der bewegenden Kraft 1 einwirkt, diejenige nämlich, welche der Maſſe 1, wenn an ihr das Quantum 1 an magnetiſchem Fluidum haftet, während der Zeit 1 die Geſchwindigkeit 1 zu ertheilen vermag, und bezeichnen wir die Intenſität der magnetiſchen Erdkraft mit P, ſo wirken auf die Puncte n, n', n'',... nach gewiſſen parallelen Richtungen nx, $n'x'$, $n''x''$,... die Kräfte $P.m$, $P.m'$, $P.m''$,... und auf s, s', s'',... nach den mit erſteren parallelen, aber in entgegengeſetztem Sinne genommenen Richtungen sy, $s'y'$, $s''y''$,... Kräfte, deren numeriſche Werthe jenen der vorgenannten ſtückweiſe gleich ſind, und die daher in Bezug auf erſtere die Zeichen $-Pm$, $-Pm'$, $-Pm''$,... erhalten. Jede der beiden Gruppen der nach einerlei Gegend hin wirkenden Kräfte kann man ſich in eine Reſultirende vereinigt, und den von der Lage der parallelen Richtungen gegen das Syſtem der magnetiſchen Elemente unabhängigen Angriffspunct dieſer Reſultirenden (den Mittelpunct der Kräfte) gefunden denken. Somit ergeben ſich ſtatt der vorgenannten Kräfte bloß zwei ihnen der Wirkung nach äquivalente, nämlich R und $-R$, wobei $R = Pm + Pm' + Pm'' + \ldots = P(m + m' + m'' + \ldots)$ oder wenn man $m + m' + m'' + \ldots = \mu$ ſetzt, $R = P\mu$ iſt, und die Richtungen dieſer Kräfte ſind denen der früheren parallel. Es ſeyen N und S Fig. 209 die Angriffspuncte, und NX, SY die Richtungen der Kräfte R und $-R$, ſo muß der Körper, wenn er ſich um ſeinen feſt gehaltenen Schwerpunct drehen kann, eine ſolche Lage annehmen, daß die Verbindungslinie der Puncte N und S den Richtungen der magnetiſchen Erdkräfte parallel lauft, und zwar wird das Gleichge-

wicht nur dann Stabilität haben, wenn die Puncte N und S ſo ſtehen, daß die Kräfte ſie von einander zu entfernen ſtreben. Die gerade Linie, welche durch die Puncte N und S geht, heißt die magnetiſche Axe des Körpers.

23. Obgleich die Puncte N und S als Mittelpuncte der einzelnen Gruppen anziehender und abſtoßender Kräfte am Magnete völlig beſtimmt ſind, ſo läßt ſich dennoch der Inbegriff der zwei im entgegengeſetzten Sinne wirkenden Reſultirenden auf unzählige Arten durch zwei andere ihnen parallele, einander gleiche und entgegengeſetzte Kräfte erſetzen, wofern nur die Angriffspuncte dieſer Kräfte in einer der vorgenannten Axe parallelen Geraden liegen, und das Product der gemeinſchaftlichen Größe der Kräfte mit dem Abſtande ihrer Angriffspuncte denſelben Werth behält, den es früher hatte. Um die Richtigkeit dieſer Behauptung zu beweiſen, ſeyen N′, S′ zwei in einer zur NS parallelen Geraden beliebig gewählte Puncte, und O der Durchſchnittspunct der ſich kreuzenden Verbindungslinien NS′, SN′. Man kann in S′ und O die Kräfte R′ und U den vorgenannten parallel ſo angebracht denken, daß ſie die in N wirkende Kraft R zur Reſultirenden haben. Dazu wird erfordert, daß U dieſelbe Richtung wie R habe, R′ die entgegengeſetzte, und nebſt der Gleichung $U = R + R'$ die Proportion $R : R' = S'O : NO$ Statt finde. Letztere gibt, weil $S'O : NO = N'S' : NS$ iſt, $R : R' = N'S' : NS$, mithin $R' . N'S' = R . NS$. Aber unter denſelben Bedingungen kann man die in S wirkende Kraft R durch die in N′ und O angebrachten Kräfte R′ und U erſetzen, nur müſſen die Richtungen derſelben denen der vorgenannten gleichnamigen Kräfte entgegengeſetzt ſeyn. Da die einander gleichen und gerade entgegengeſetzten Kräfte U, U in O einander tilgen, ſo bleiben nur die zwei Kräfte R′, R′ in N′ und S′ übrig, welche daher den in N und S wirkenden Kräften R, R äquivalent ſind. Die Kräfte in N, N′ wirken nach einerlei, die in S, S′ wieder nach einerlei aber der erſteren entgegengeſetzten Richtung, und die Bedingungsgleichung, an welche die Größen derſelben gebunden ſind, iſt $R' . N'S' = R . NS$. Wäre $N'S' = NS$ ſo hätte man $R' = R$.

24. Aus dem Geſagten geht hervor, daß die magnetiſche Axe im Grunde als keine beſtimmte in dem Magnete für vorhandene Linie, ſondern nur als eine zum Magnete gehörende Richtung anzuſehen iſt, und daß man je zwei in einer Axe gewählte Puncte als Angriffspuncte der den magnetiſchen Erdkräften der Wirkung nach gleichgeltenden zwei Reſultirenden, mithin als Puncte, die auf die Benennung »Pole« Anſpruch machen können, betrachten darf. Setzt man den Abſtand der Mittelpuncte der Kräfte, womit der Erdmagnetismus das nördliche und ſüdliche Fluidum eines Magnetes afficirt, nämlich die Länge der Linie NS (22) gleich ρ, ſo iſt $R\rho = P\mu\rho$ der unveränderliche Werth des Productes des gemeinſchaftlichen Werthes der Reſultirenden der magnetiſchen Erdkräfte multiplicirt mit der Diſtanz ihrer Angriffspuncte. Das Product $\mu\rho$, welches eine bloß von der Anordnung der Magnetismen in jedem individuellen Magnet abhän-

gende Größe iſt, heißt das *magnetiſche Moment*, welches im Folgenden mit M bezeichnet werden ſoll. Zur Rechtfertigung dieſer Benennung denken wir uns in der Richtung der Axe NS irgend einen feſten Punct E (Fig. 210 a und b), um welchen ſich dieſe Axe drehen läßt, und zugleich dieſe Axe ſenkrecht gegen die Richtungen der Kräfte R, R geſtellt, ſo iſt das Drehungsmoment der in N wirkenden Kraft $= R.NE$ und das Drehungsmoment der in S wirkenden $= R.SE$. Da nun nach Maßgabe der Stellung des Punctes E gegen N und S beide Kräfte entweder entgegengeſetzte oder übereinſtimmende Drehungen hervorzubringen ſtreben, ſo geht aus ihrem Zuſammenwirken das Moment $R.NE \mp R.SE$ hervor, wo das Zeichen $+$ gilt, wenn E zwiſchen N und S liegt (a), ſonſt aber das Zeichen — (b). Stets aber erhält man genannte Summe $= R.NS = R\rho = P\mu\rho$. Dieſes iſt das größte mögliche Drehungsmoment, denn bei ſchiefer Richtung der Kräfte gegen die Axe fällt das Drehungsmoment nothwendig kleiner aus. Setzen wir die Größe der Kraft $P = 1$, ſo wird jenes Drehungsmoment $= \mu\rho = M$. Man kann ſich daher immer M als das Product irgend eines Gewichtes mit einem angemeſſenen Hebelarm, woran es wirkt vorſtellen.

25. Auf die magnetiſche Axe eines Körpers in dem ſo eben ausgeſprochenen Sinne bezieht ſich die genaue Beſtimmung der bereits früher (6) angedeuteten Begriffe der magnetiſchen *Neigung* und *Abweichung* (Inclination und Declination.) Bei einem in ſeinem Schwerpuncte unterſtützten, ſonſt aber nach allen Richtungen frei beweglichen Magnete nimmt die magnetiſche Axe eine Lage an, welche die Richtung der magnetiſchen Erdkraft anzeigt. Der Winkel, den ſie in dieſer Poſition mit einer horizontalen Ebene macht, iſt die *Neigung*; der Winkel den eine verticale Ebene, die mit der in genannter Lage befindlichen magnetiſchen Axe parallel geht (der *magnetiſche Meridian*), mit dem aſtronomiſchen Meridian macht, iſt die Abweichung. Darnach erhält auch der Begriff des *magnetiſchen Aequators* ſeine präciſe Bedeutung (6). Wird ein Magnet nicht in ſeinem Schwerpuncte, ſondern in einem andern Puncte aufgehängt, oder kann er ſich bloß um eine verticale von der magnetiſchen verſchiedene Axe drehen, ſo zeigt er bloß die Declination an.

Bei dünnen Stäben, die durch Längenſtriche vorſichtig magnetiſirt worden ſind, liegt die magnetiſche Axe der Längenrichtung des Stabes parallel; bei cylindriſchen oder prismatiſchen Stäben von nicht ſehr geringem Querſchnitte hingegen darf man ſich nicht darauf verlaſſen, daß dieß ſicher der Fall ſey. In der That ändern ſolche Stäbe meiſtens ihre Ruhelage, in der ſie horizontal aufgehängt ſchweben, wenn man ſelbe ſo umlegt, daß die Fläche, welche früher oben war, abwärts kommt, was eine Folge der Neigung der magnetiſchen Axe gegen die Seitenflächen des Stabes iſt.

26. In dem beſonderen Falle, wenn die magnetiſche Axe mit der verticalen Drehungsaxe des Magnetes einen rechten Winkel bildet, folglich die magnetiſche Axe ſtets in einer horizontalen Richtung zu bleiben genöthiget iſt, erhält der Magnet ſeine Richtung lediglich durch

die horizontale Componente der magnetiſchen Erdkraft. Das Parallelogramm der Kräfte lehrt, daß, wenn wie oben P die Größe der magnetiſchen Erdkraft, T die Größe ihrer horizontalen Componente und i die Inclination bedeutet, die Gleichung $T = P \cos i$ beſtehe. Denkt man ſich einen ſo vorgerichteten Magnet, den man, in ſo fern er die Form eines, wenn auch maſſiven Stabes hat, vorzugsweiſe eine Declinationsnadel zu nennen pflegt, ein wenig aus ſeiner Ruhelage gebracht, ſo wird er unter dem Einfluſſe der Kraft T nach denſelben Geſetzen, wie ein Pendel, Schwingungen machen. Die Formel für die Dauer einer Schwingung des einfachen Pendels iſt $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ wenn l die Länge und g die Acceleration, oder was dasſelbe iſt, die Intenſität der Schwerkraft anzeigt. Bedeutet für ein zuſammengeſetztes Pendel K das Moment der Trägheit in Bezug auf die Drehungsaxe, M das ſtatiſche Moment, ſo hat man (292) $l = \frac{K}{M}$, mithin iſt $t = \pi \sqrt{\frac{K}{gM}}$. Es iſt leicht zu zeigen, daß, um dieſe Formel auf die Schwingungsdauer einer Declinationsnadel anzuwenden, bloß g mit T zu vertauſchen, und unter K das Trägheitsmoment der Nadel, unter M ihr magnetiſches Moment zu verſtehen ſey. Sonach hat man für die in ſehr kleinen Winkeln vor ſich gehenden Schwingungen einer Declinationsnadel $t = \pi \sqrt{\frac{K}{TM}}$. Dieſe Gleichung gibt $TM = \frac{\pi^2 K}{t^2}$, eine Formel, mit deren Hülfe man, wenn K und t bekannt ſind, was ſich durch Beobachtungen erzielen läßt, den Werth des Productes TM finden kann.

27. Um die Einwirkung eines Magnetes auf einen andern beurtheilen zu können, muß das Geſetz bekannt ſeyn, nach welchem die Theilchen der magnetiſchen Flüſſigkeiten einander anziehen oder abſtoßen. Genaue Verſuche haben gelehrt, daß die Kraft, welche zwei Theilchen magnetiſcher Flüſſigkeiten auf einander ausüben, dem Quadrate ihres Abſtandes verkehrt proportionirt anzunehmen ſey. Ueberdieß iſt es klar, daß dieſe Kraft ſich wie das Product der auf einander wirkenden Quantitäten der magnetiſchen Flüſſigkeiten verhalte. Die Abhängigkeit der gegenſeitigen Action der magnetiſchen Flüſſigkeiten von der Diſtanz der einander anziehenden oder abſtoßenden Theilchen läßt ſich ſchon aus der Kraft entnehmen, womit ein Pol eines Magnetſtabes den Pol eines andern Magnetſtabes afficirt. Durch Verſuche dieſer Art wurde ſchon im Jahre 1781 Dalla Bella auf das ſo eben ausgeſprochene Geſetz geführt; Coulomb hat dasſelbe, ohne jene Arbeit zu kennen, ſowohl durch Schwingungsverſuche, wie auch mittelſt eines beſonderen Apparates, der Drehwage erkannt. Am genaueſten wird aber dieſes Geſetz durch die Uebereinſtimmung der aus demſelben fließenden Folgerungen mit den Reſultaten feiner Verſuche bewieſen.

28. Um das erwähnte Geſetz durch Schwingungsverſuche zu

rechtfertigen, laſſe man einen um eine fixe Axe beweglichen Magnetſtab zuerſt unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus, dann unter dem damit gleichzeitig thätigen Einfluſſe eines fixen Magnetpoles, den man in verſchiedenen Diſtanzen aufſtellt, ſchwingen. Es ſey die Anzahl Schwingungen, welche der Magnetſtab binnen einer feſtgeſetzten Zeit Z unter dem alleinigen Einfluſſe der magnetiſchen Kraft vollbringt = N, und die Anzahl der Schwingungen wenn der Magnetpol zu Hülfe genommen wird = N', ſo erhält man, wenn T die Kraft der Erde, T + T' jene der Erde und des Magnetpoles in Verbindung vorſtellt, mit Beibehaltung der obigen Bedeutungen von M und K und mit Rückſicht darauf, daß $\frac{Z}{N}$, $\frac{Z}{N'}$, die Dauer einer Schwingung in beiden Fällen angibt, nach 26, $TM = \frac{\pi^2 K N^2}{Z^2}$, $(T + T')\,M = \frac{\pi^2 K N'^2}{Z^2}$, mithin $T : T + T' = N^2 : N'^2$. Beziehen ſich N'' und T'' auf eine andere Stellung des fixen Magnetpoles, ſo hat man eben ſo
$T : T + T'' = N^2 : N''^2$. Aus beiden Proportionen folgt:

$$T : T' = N^2 : N'^2 - N^2;\quad T : T'' = N^2 : N''^2 - N^2.$$

Daher hat man $T' : T'' = N'^2 - N^2 : N''^2 - N^2$.

Bei einem Oſcillationsverſuche hat Coulomb gefunden, daß eine Magnetnadel, die unter dem bloßen Einfluſſe des Erdmagnetismus in einer Minute 15 Schwingungen machte, deren in derſelben Zeit 24 vollbrachte, als er ihr den ungleichnamigen Pol eines Magnets in der Ebene des magnetiſchen Meridians auf 8 Zoll Entfernung gegenüber hielt, und endlich 41, als dieſe Entfernung nur 4 Zoll betrug. Hier verhalten ſich die Entfernungen wie 2 : 1, und die anziehenden Kräfte des Magnets wie $24^2 - 15^2 : 41^2 - 15^2 = 351 : 1456$, d. i. nahe wie 1 : 4.

29. Die magnetiſche Drehwage (Fig. 211) beſteht aus einem prismatiſchen oder cylindriſchen, horizontal ſchwebenden Magnete A (Magnetnadel), der mittelſt eines ſehr feinen elaſtiſchen Drahtes B in einem Glaskaſten aufgehängt iſt. Dieſer Kaſten hat in der Höhe, in welcher ſich die Axe des Magnetes befindet, entweder eine Kreistheilung, oder eine dieſelbe vertretende Chordenſcale C, an der man die Größe der Ablenkung des Magnetes meſſen kann. Der Draht iſt unten durch ein Gewicht D in Spannung erhalten, und oben am Deckel eines cylindriſchen röhrenförmigen Aufſatzes E ſo befeſtigt, daß man ihn heben und ſenken, aber auch winden und zugleich den Torſionswinkel an einer beſonderen Kreistheilung abnehmen kann. Soll dieſes Inſtrument als Magnetometer dienen, ſo läßt man die Magnetnadel im magnetiſchen Meridiane in Ruhe kommen, ohne daß der Draht eine Torſion erleidet, bringt dann zur Seite derſelben den zu unterſuchenden Magnet z. B. in verticaler Stellung ſo an, daß er der Nadel ſeine feindliche Polhälfte zuwendet. Hierdurch erfolgt eine Ablenkung des Magnetes der Wage. Dieſe bringt man durch Winden des Metalldrahtes auf eine beſtimmte Größe, z. B. auf 4°, hebt oder ſenkt dann den ſchwebenden Magnet, damit er einem anderen Querſchnitte des verticalen Magnetes gegenüber zu ſtehen komme, und

bringt durch Auf- oder Zudrehen des Drahtes den Abſtoßungswinkel wieder auf die vorige Größe. Denſelben Verſuch nimmt man für jeden zu prüfenden Querſchnitt des verticalen Magnetes vor. Um nun aus dieſen Daten Reſultate ableiten zu können, muß man überlegen, welche Kräfte bei jedem Theile dieſes Verſuches auf die Magnetnadel wirken. Die Magnetnadel wird durch den Erdmagnetismus im magnetiſchen Meridiane erhalten. Wird ihr ein Magnet nahe gebracht, der ſie abſtoßt, ſo tritt ſie aus dem Meridiane und wird in dieſer neuen Lage von drei Kräften afficirt, nämlich von dem Erdmagnetismus, von der Kraft des feindlichen Magnetpoles und von der Elaſticität des Drahtes. Vermindert man durch Drehen des Drahtes den Abſtoßungswinkel, ſo ändert man dadurch jede der drei Kräfte, und es hält nun das Beſtreben des Magnetes, vermöge des Erdmagnetismus in den magnetiſchen Meridian zurück zu kehren, vermehrt um das Beſtreben des Drahtes ſich aufzuwickeln, den abſtoßenden Kräften der Magnete das Gleichgewicht. Da müſſen nun vorerſt die erſteren zwei Kräfte homogen gemacht werden, damit man ihre Reſultirende finden könne. Dieſes geſchieht, indem man zu erfahren ſucht, um wie viele Grade der Draht im freien Zuſtande gedreht werden müſſe, damit ſein Beſtreben ſich aufzudrehen, dem Beſtreben des ſchwebenden Magnetes, aus einem beſtimmten Abſtoßungswinkel (in unſerem Falle 4°) in den magnetiſchen Meridian vermöge des Erdmagnetismus zurück zu kehren, das Gleichgewicht halte. Dieſes geſchieht leicht, indem man, wenn die Magnetnadel ſich ſelbſt überlaſſen iſt, und daher im magnetiſchen Meridiane ſteht, den Draht ſo ſtark dreht, bis die beabſichtigte Ablenkung vom Meridiane erfolgt. Kennt man dieſe Größe, ſo iſt es leicht einzuſehen, daß der gefundene Torſionswinkel, vermehrt um den Abſtoßungswinkel und um die überdieß dem Drahte ertheilte Torſion, der abſtoßenden Kraft der Magnete proportionirt ſey.

Bei einem Verſuche Coulomb's, als er an die Seite des horizontal ſchwebenden Magnets der Drehwage einen verticalen Magnet geſtellt hatte, betrug der Abſtoßungswinkel 24°, wenn der Draht gar keine Windung hatte, hingegen 17°, wenn er eine Windung von $3 \times 360 = 1080°$ hatte. Der Magnet der Drehwage konnte, vorläufigen Verſuchen gemäß, durch eine Windung von 35° um 1° abgelenkt werden, mithin durch eine Torſion von $24 \times 35° = 840°$ um 24°, und durch eine Torſion von $17 \times 35° = 595°$ um 17°. Es verhielt ſich alſo dieſe ablenkende Kraft beim Abſtoßungswinkel 24° zu der beim Abſtoßungswinkel 17° wie $24 + 840 : 17 + 1080 + 595 = 864 : 1692$ oder nahe wie $1 : 2$, während ſich die Quadrate der Abſtände wie $24^2 : 17^2 = 576 : 289$, oder faſt wie $2 : 1$ verhielten. Etwas Aehnliches findet man für die magnetiſche Anziehung.

30. Die Beſtimmung der Einwirkung, die aus der Geſammtaction aller Elemente eines Magnets auf die Elemente eines andern bei jeder Lage und Geſtalt beider Magnete reſultirt, erfordert Rechnungen, welche die Kräfte der mathematiſchen Anfangsgründe überſteigen. Wir müſſen uns daher hier mit der Betrachtung einiger ſpeciellen Fälle begnügen, welche jedoch ſowohl zur Andeutung des Ganges des all-

gemeinen Verfahrens, als auch zu dem practiſchen Gebrauche hinreichen. Es ſey die Kraft zu beſtimmen, die ein Magnet auf ein magnetiſches Elementartheilchen nördlicher oder ſüdlicher Art in einer Entfernung ausübt, welche die Dimenſionen des Magnetes viele Male übertrifft. Zur Erleichterung unſerer Betrachtung ſetzen wir überdieß voraus, daß der Magnet ein Stab ſey, deſſen Länge die Abmeſſungen ſeines Querſchnittes bei Weitem überwiegt. Dem gemäß ſey NS (Fig. 212) der Magnetſtab und zugleich die Richtung ſeiner magnetiſchen Axe, A das Theilchen magnetiſcher Flüſſigkeit, worauf der Stab wirkt, O die Mitte des Stabes und M irgend ein Theilchen des Stabes, woran die Menge m freien magnetiſchen Fluidums haftet. Geben wir dem Theilchen A die magnetiſche Quantität 1, und ſehen wir dabei diejenige Quantität als die Einheit an, welche in der Entfernung 1 einer ihr gleichen Quantität die bewegende Kraft 1 beibringt, ſo iſt der Ausdruck der Kraft, womit das Theilchen M auf A anziehend oder abſtoßend wirkt, $= \frac{m}{AM^2}$. Dieſe Kraft läßt ſich in eine parallel zur magnetiſchen Axe wirkende Componente p, und in eine ſenkrecht darauf wirkende Componente q zerlegen. Ziehen wir AH ſenkrecht auf die Richtung von NS, ſo erhalten wir die der NS parallele Componente, wenn wir $\frac{m}{AM^2}$ mit $\frac{MH}{AM}$ multipliciren, und die auf NS ſenkrechte Componente durch Multiplication eben derſelben Größe mit $\frac{AH}{AM}$. Daher iſt $p = \frac{m.MH}{AM^3}$ und $q = \frac{m.AH}{AM^3}$. Zur Abkürzung ſey
$OA = a$, $OH = h$, $AH = k$, $OM = x$, ſo hat man:
$AM^2 = AH^2 + MH^2 = k^2 + (h-x)^2 = k^2 + h^2 - 2hx + x^2$,
oder wegen $k^2 + h^2 = a^2$, $AM^2 = a^2 - 2hx + x^2$. Wegen der Kleinheit von x gegen a kann man hier die zweite Potenz x^2 ganz vernachläßigen, oder wenigſtens ohne merklichen Fehler $\frac{h^2x^2}{a^2}$ ſtatt x^2 ſetzen. So wird $AM^2 = a^2 - 2hx + \frac{h^2x^2}{a^2} = \left(a - \frac{hx}{a}\right)^2$, mithin $AM = a - \frac{hx}{a}$. Mit Vernachläßigung der höheren Potenzen von x folgt hieraus $AM^3 = a^3 - 3ahx$, mithin $p = \frac{m(h-x)}{a^3 - 3ahx}$, $q = \frac{mk}{a^3 - 3ahx}$. Multiplicirt man hier Zähler und Nenner mit $a^3 + 3ahx$, und läßt die höheren Potenzen von x weg, ſo wird $p = \frac{mh}{a^3} + \frac{m(3h^2 - a^2)x}{a^5}$, $q = \frac{mk}{a^3} + \frac{3mhkx}{a^5}$. Rechnet man nun eben ſo für ein zweites, drittes Theilchen M′, M″ ꝛc. und bezeichnet die in denſelben enthaltenen Quantitäten magnetiſcher Flüſſigkeit mit m′, m″, ...; die Abſtände der Theilchen von O mit x′, x″, ...; die mit NS parallelen Componenten der Actionen, die ſie auf A aus-

üben, mit p', p'' ...; die auf NS ſenkrechten Componenten derſelben Actionen mit q', q'', ...; endlich die analogen Componenten der Totalwirkung des Magnetſtabes auf A mit $\mathfrak{P}$ und $\mathfrak{Q}$, wobei entgegengeſetzte Lagen von x, x', x'', ..., wie auch entgegengeſetzte Kräfte, durch die Zeichen $+$ und $-$ unterſchieden werden müſſen: ſo iſt nothwendig $\mathfrak{P} = p + p' + p'' + \ldots$ und $\mathfrak{Q} = q + q' + q'' + \ldots$ Schreibt man die Werthe von p', p'', ... q', q'', ... nach dem durch die obigen Werthe von p und q dargebotenen Schema an, und ſucht die Summen ſämmtlicher gleichartigen Werthe, ſo findet man

$$\mathfrak{P} = \frac{h}{a^3}(m + m' + m'' + \ldots) + \frac{3h^2 - a^2}{a^5}(mx + m'x' + m''x'' + \ldots)$$

$$\mathfrak{Q} = \frac{k}{a^3}(m + m' + m'' + \ldots) + \frac{3hk}{a^5}(mx + m'x' + m''x'' + \ldots)$$

Bei dieſer Rechnung muß man nördliches und ſüdliches Fluidum, der entgegengeſetzten Kräfte wegen, die ſie gegen ein und dasſelbe magnetiſche Theilchen an den Tag legen, als entgegengeſetzte Größen behandeln; da nun ein Magnet eben ſo viel von dem einen, wie von dem andern Fluidum enthält, ſo iſt offenbar

$$m + m' + m'' + \ldots = 0.$$

Die Summe $mx + m'x' + m''x'' + \ldots$ iſt augenſcheinlich der Inbegriff der Drehungsmomente, welche die magnetiſchen Theilchen M, M', M'', ... des Stabes darbieten, wenn eine Kraft, ähnlich jener der erdmagnetiſchen Kraft und der Intenſität nach $= 1$, bemüht wäre, den Stab, deſſen Theile ſie ſenkrecht gegen ſeine Längenrichtung afficirt, um den Punct O zu drehen; dieſe Summe iſt ſonach gerade die Größe, welche oben (24) magnetiſches Moment genannt und mit M bezeichnet wurde. Dem gemäß iſt

$$mx + m'x' + m''x'' + \ldots = M.$$

Hiedurch erhält man $\mathfrak{P} = \frac{(3h^2 - a^2)M}{a^5}$, $\mathfrak{Q} = \frac{3hkM}{a^5}$. Dieſelben Werthe erhält man auch, wenn man nicht annimmt daß der Querſchnitt des Magnetes NS gegen deſſen Länge verſchwindend klein ſey, wofern nur die Dimenſionen dieſes Magnetes im Vergleich mit ſeiner Entfernung von A ſehr klein ſind.

31. Conſtruirt man, vom Puncte A ausgehend, ein Rechteck ABDC, deſſen Seiten AB, AC parallel und ſenkrecht gegen NS ſtehen, die der magnetiſchen Beſchaffenheit von A und der Lage des Magnets NS angemeſſenen Richtungen haben, und der Größe nach den Werthen von $\mathfrak{P}$ und $\mathfrak{Q}$ entſprechen, ſo gibt die Diagonale AD dieſes Rechteckes die Größe und Richtung der Totalaction an, welche das Theilchen A von dem Magnetſtabe NS erfährt. Bezeichnet man die Größe dieſer Totalaction durch $\mathfrak{R}$, ſo iſt $\mathfrak{R}^2 = \mathfrak{P}^2 + \mathfrak{Q}^2$, mithin $\mathfrak{R}^2 = (9h^4 - 6a^2h^2 + a^4 + 9h^2k^2)\frac{M^2}{a^{10}}$, oder wegen

$$9h^4 + 9h^2k^2 = 9h^2(h^2 + k^2) = 9h^2a^2,$$

$$\mathfrak{R}^2 = (9a^2h^2 - 6a^2h^2 + a^4)\frac{M^2}{a^{10}} = (3h^2 + a^2)\frac{M^2}{a^8}, \text{ alſo } \mathfrak{R} = \frac{M}{a^3}\sqrt{1 + \frac{3h^2}{a^2}}.$$

Es ſey E der Punct, worin AD mit NS zuſammentrifft, ſo iſt $EH : AH = DC : AC$, d. h. $EH : k = \frac{(3h^2 - a^2)M}{a^5} : \frac{3hkM}{a^5}$. Hieraus folgt $EH = \frac{3h^2 - a^2}{3h}$ und

$$OE = OH - EH = h - \frac{3h^2 - a^2}{3h} = \frac{a^2}{3h}.$$

Errichtet man AF ſenkrecht auf OA, ſo iſt $OF : OA = OA : OH$ alſo $OF = \frac{a^2}{h}$. Dieß gibt $OE = \frac{1}{3} OF$, wornach ſich die Richtung der Kraft $\mathfrak{R}$ auf eine höchſt einfache Weiſe finden läßt.

32. Es iſt $\frac{h}{a}$ der Coſinus des Winkels AOH. Bezeichnet man dieſen Winkel mit α, ſo nimmt obiger Ausdruck für die Größe der Kraft, womit der Magnet NS auf A einwirkt, die Geſtalt

$$\mathfrak{R} = \frac{M}{a^3}\sqrt{1 + 3\cos\alpha^2}$$

an. Bleibt daher der Winkel α derſelbe, ſo zeigt ſich dieſe Kraft der dritten Potenz der Entfernung des Theilchens A vom Magnete verkehrt proportionirt. Steht das Theilchen A in derſelben Diſtanz a vom Magnete, einmal in der Richtung der magnetiſchen Axe, das andere Mal in der Richtung, welche von O ſenkrecht gegen dieſe Axe ausgeht, ſo iſt in dem erſten Falle $\alpha = 0$, alſo $\cos a = 1$; ein anderer $\alpha = 90°$, mithin $\cos\alpha = 0$, und daher in dem erſten Falle $\mathfrak{R} = \frac{2M}{a^3}$, und im zweiten Falle $\mathfrak{R} = \frac{M}{a^3}$, alſo gerade halb ſo groß, als im erſten. Aus den in 30 für $\mathfrak{P}$ und $\mathfrak{Q}$ gefundenen Formeln ſieht man leicht, daß in beiden Fällen $\mathfrak{Q} = 0$ wird, mithin die Reſultirende die Richtung der magnetiſchen Axe hat.

Die hier erhaltene einfache Beziehung zwiſchen den zwei Werthen von $\mathfrak{R}$ für $\alpha = 0$ und $\alpha = 90°$ iſt nothwendig an die Vorausſetzung gebunden, daß die Action der Theilchen der magnetiſchen Flüſſigkeiten dem Quadrate der Entfernung verkehrt proportionirt ſey. Es iſt auf dem oben betretenen Wege leicht zu zeigen, daß, wenn dieſe Action der nten Potenz der Entfernung verkehrt proportionirt angenommen wird, die genannten zwei Werthe von $\mathfrak{R}$ ſich wie $n : 1$ verhalten müſſen. Dieſer Umſtand kann mit Hülfe des ſpäter zu erklärenden Magnetometers zur Herſtellung eines Beweiſes benützt werden, daß in der That das Wirkungsgeſetz der magnetiſchen Flüſſigkeiten mit jenem der Schwere übereinſtimmt.

33. Es ſey ns (Fig. 213) die Ruhelage einer horizontalen um eine verticale Axe o frei beweglichen Magnetnadel (oder vielmehr der magnetiſchen Axe dieſer Nadel) unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus, und es werde in einer gegen die Länge dieſer Nadel großen Entfernung eine andere Nadel NS ſo befeſtiget, daß ihre, gleichfalls horizontale Richtung die Grade ns in der Mitte o ſenkrecht durchſchneidet, ſo wird die erſte Nadel von der urſprünglichen Ruhelage abge-

lenkt und in eine andere n's' verſetzt, welche mit ns einen Winkel (den Ablenkungswinkel) non' = v bildet. Wegen der geringen Länge von ns und NS kann man die Richtungen der Kräfte, welche NS gegen ſämmtliche Theilchen von ns äußert, als parallel betrachten, und daher nach den oben vorgetragenen Principien die Sache ſo nehmen, als ob zwei Kräfte, die ſich zu einander verhalten wie die horizontale Componente T der erdmagnetiſchen Kraft zu der von NS herrührenden Kraft U auf einen von o verſchiedenen, mit der magnetiſchen Quantität 1 verſehenen Punct in ns z. B. auf n wirkten, und zwar die erſte Kraft parallel zu ns und die zweite ſenkrecht dagegen. Verzeichnet man das Parallelogramm der Kräfte n'efk deſſen Diagonale n'f die Richtung von s'n' haben muß, ſo ſieht man, daß

$$\textit{tang}\, en'f = \frac{ef}{n'f}, \text{ d. h. } \textit{tang}\, v = \frac{U}{T}$$

iſt. Nach 32 haben wir $U = \frac{2M}{a^3}$, wenn M das magnetiſche Moment von NS und a den Abſtand der Mittelpuncte beider Stäbe bedeutet; ſomit iſt $\textit{tang}\, v = \frac{2M}{Ta^3}$, woraus

$$\frac{M}{T} = \tfrac{1}{2}\, a^3\, \textit{tang}\, v$$

folgt. Es kann alſo die Ablenkung v die ein fixer Magnetſtab in der bezeichneten Lage an irgend einem horizontal beweglichen Stabe hervorbringt, dazu dienen, das Verhältniß des magnetiſchen Moments des erſteren Stabes zur Intenſität der horizontalen Componente der erdmagnetiſchen Kraft anzugeben. In 26 wurde gezeigt, wie man aus dem bekannten Trägheitsmomente K und aus der Dauer t einer horizontalen Schwingung eines Magnetes das Product TM finden könne. Es iſt nämlich $TM = \frac{\pi^2 K}{t^2}$. Multiplicirt und dividirt man dieſen Ausdruck mit dem obigen für $\frac{M}{T}$, ſo erhält man

$$M^2 = \frac{\pi^2 K a^3\, \textit{tang}\, v}{2t^2} \text{ und } T^2 = \frac{2\pi^2 K}{a^3 t^2\, \textit{tang}\, v},$$

daher hat man $M = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{K a^3\, \textit{tang}\, v}{2}}$ und $T = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{2K}{a^3\, \textit{tang}\, v}}$.

Die hier entwickelten Formeln ſind bloß annäherungsweiſe richtig, reichen aber dort, wo es nicht auf die äußerſte Schärfe ankommt, ſelbſt bei mäßigen Werthen von a völlig zu. Die ſtrenge Theorie findet man in der Abhandlung ihres Urhebers: Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata. Auctore Carolo Friderico Gauss. Gottingae 1833, und in Pogg. Ann. 28. 241, 591. Die Deduction dieſer Formeln enthält auch Dove's Repert. 2. 159.

Bringt man die Nadel NS in der durch ns gehenden Horizontalebene in eine ſolche Lage, daß ihr Mittelpunct in die Verlängerung von ns fällt und beide Nadeln einen rechten Winkel bilden, und ſtellt man den hierauf ſich beziehenden Ablenkungswinkel von ns und die Kraft der NS durch v' und U' vor, ſo hat man $\textit{tang}\, v' = \frac{U'}{T}$ mithin

$tang\ v : tang\ v' = U : U' = 2 : 1$, d. h. $tang\ v = 2\ tang\ v'$, oder wenn die Winkel v, v' klein ſind, $v = 2v'$. Die Erfahrung beſtätiget dieſe Gleichung und dadurch auch, daß die Action der magnetiſchen Elemente dem Quadrat der Entfernung verkehrt proportionirt iſt.

34. Alle im Vorigen aufgeſtellten Unterſuchungen konnten vorgenommen werden, ohne über die Art der Vertheilung der Magnetismen im Innern eines magnetiſchen Körpers etwas auszuſagen. Welche auch immer dieſe Vertheilung ſeyn mag, ſo kann man, wie Gauß bewieſen hat, aus dem Grunde, daß die magnetiſchen Theilchen auf einander mit Kräften wirken, die dem Quadrate ihres Abſtandes verkehrt proportionirt ſind, genannter Vertheilung eine andere, hinſichtlich der Wirkung nach außen vollkommen äquivalente auf der Oberfläche des Magnetes ſubſtituiren, und zwar iſt Letzteres, für jede individuelle Anordnung des inneren Magnetismus nur auf eine einzige Art möglich. Dagegen laſſen ſich unendlich viele verſchiedene Vertheilungsarten der Magnetismen im Innern eines Magnets denken, aus welchen dieſelbe Wirkung nach außen hervorgeht. Hieraus erhellet hinlänglich, daß alle Bemühungen über die Art der Vertheilung der magnetiſchen Zuſtände im Innern eines Körpers aus ſeinem Verhalten nach außen etwas Beſtimmtes zu erſchließen vergeblich ſind. Wozu wir durch Beobachtung der Action eines Magnets auf Theilchen außer ihm mit Beſtimmtheit gelangen können, iſt immer nur die äquivalente Vertheilung der Magnetismen auf ſeiner Oberfläche. Indeſſen hindert dieß nicht, ſich aus andern Gründen, z. B. nach der Art des Vorganges bei dem Magnetiſiren eines Stabes, eine Vorſtellung von der Lagerung der magnetiſchen Flüſſigkeiten in ſeinen Elementen zu bilden.

35. Beobachtungen an regelmäßig geſtrichenen Magnetſtäben lehren, daß ſie auf magnetiſche Theilchen in ihrer Umgebung dergeſtalt wirken, als ob alles magnetiſche Fluidum nördlicher Art auf der einen, und das ſüdliche auf der andern Hälfte des Stabes (nach ſeiner Länge betrachtet) gelagert, und zwar der größte Theil dieſer Flüſſigkeiten an den Enden des Stabes zuſammengedrängt wäre. Man kann ſonach mit großer Annäherung an die Wahrheit die Sache ſo nehmen, als ob die Geſammtkraft beider Flüſſigkeiten in zwei Puncten in der Axe des Stabes concentrirt wäre, die den Enden des Stabes ſehr nahe liegen und gleichweit von denſelben abſtehen. Dieß ſind die Puncte, welche man gewöhnlich die Pole des Stabes nennt.

36. Denkt man ſich eine ſehr kleine Magnetnadel in allen Entfernungen und nach allen Richtungen um einen magnetiſchen Körper herumgeführt, ſo wird dieſelbe an jeder Stelle eine beſtimmte Gleichgewichtslage annehmen, welche der Richtung der Reſultirenden aller magnetiſchen Kräfte entſpricht, die der Körper gegen jeden Punct der Nadel äußert. Eine Folge von Gleichgewichtslagen, welche ſich ergeben, indem die Nadel ſo verſchoben wird, daß ſtets der eine Pol derſelben den Platz erhält, den früher der andere einnahm, ſtellt eine krumme Linie dar, deren Tangenten ſämmtlich Gleichgewichtslagen der

Magnetnadel ſind. Man nennt eine ſolche krumme Linie eine **magnetiſche Curve**. Jedem magnetiſchen Körper gehört alſo ein Syſtem ſolcher Curven, die ihn in immer mehr ſich erweiternden Bögen umgeben. Eine krumme Fläche, welche ſämmtliche magnetiſche Curven ſenkrecht durchſchneidet, gegen die daher die Richtung der Reſultirenden der magnetiſchen Kräfte des Körpers überall normal ſteht, heißt eine **magnetiſche Gleichgewichtsfläche**.

Die Geſtalt der magnetiſchen Curven eines Stabes läßt ſich ſehr leicht dem Auge darſtellen, wenn man den Stab mit einem Bogen Papier, deſſen Dimenſionen die Länge des Stabes überſchreiten, bedeckt und Eiſenfeile darauf ſtreut. Die durch den Einfluß des Stabes magnetiſch gewordenen Eiſentheilchen hängen ſich an einander, und laſſen, indem ſie dabei die Richtung einer kleinen Magnetnadel in ihrer Gleichgewichtslage annehmen, den Lauf der magnetiſchen Curven deutlich erkennen. Die Geſtalt derſelben ſtimmt mit derjenigen überein, welche ſie geometriſchen Betrachtungen zu Folge haben müſſen, in ſo fern dem Stabe bloß ſeine beiden Pole mit entgegengeſetzten, dem Quadrate der Entfernung des Punctes, worauf ſie wirken, verkehrt proportionalen Kraftäußerungen ſubſtituirt werden.

37. Will man die Größe und Richtung der magnetiſchen Kraft, die ein Körper auf ſeine Umgebung auszuüben vermag, auf practiſchem Wege beſtimmen, ſo geht man am zweckmäßigſten zu Werke, wenn man ſich dieſe Kraft nach beſtimmten Richtungen zerlegt denkt, und die Größen der Componenten auszumitteln ſucht. So kann man bei einem Stabe die ſeiner Länge parallele Componente der Reſultirenden ſeiner magnetiſchen Kräfte von der gegen ſeine Länge ſenkrechten Componente ſondern und jede einzeln unterſuchen. Man kann ſich hiezu der Schwingungsverſuche mit einer Probenadel bedienen, die man einmal bloß unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus, das andere Mal unter dem combinirten Einfluſſe des Erd- und des Stabmagnetismus oſcilliren läßt (28) oder auch die Drehwage in Anwendung bringen (29). **Coulomb** und in der neueſten Zeit **Kupfer** haben Verſuche dieſer Art angeſtellt. Prüft man mit einer bloß horizontal beweglichen Magnetnadel einen langen cylindriſchen oder prismatiſchen, gleichförmig magnetiſirten Stab in Abſicht auf die gegen ſeine Längenaxe ſenkrechte Componente der magnetiſchen Kräfte, zu welchem Behufe man den Stab in verticaler Lage auf die Nadel einwirken läßt, ſo findet man dieſe Componente in der Mitte = o und bei gleichem Abſtande der Nadel vom Stabe, gegen die Enden hin auf einerlei Weiſe raſch zunehmend. In den Querſchnitten, wo die Maxima der Kräfte ſich einſtellen, liegen die Pole. Eine Stelle, wo die erwähnte Componente = o erſcheint, heißt überhaupt ein **Indifferenzpunct**. Bei einem Stabe, der ungleichförmig magnetiſirt wurde, liegt der Indifferenzpunct nicht in der Mitte, und wenn der Stab mehrere Pole (Folgepuncte) hat, zeigen ſich auch mehrere Indifferenzpuncte.

Verzeichnet man eine Curve, der die Enfernungen der verſchiedenen Stellen am Stabe von der Mitte als Abſciſſen, und die darauf ſich beziehenden, gegen die Axe ſenkrechten Kräfte in einer beſtimmten, durch

die Axe geführten Ebene als Ordinaten entſprechen, ſo bleibt das Bildungsgeſetz der Curve bei Stäben von ähnlichem Querſchnitte aber verſchiedener Länge dasſelbe, vorausgeſetzt, daß die Dimenſionen des Querſchnittes gegen die Länge des Stabes gering ſind. Bei einem Verſuche, den Coulomb über die Vertheilung der magnetiſchen Kraft in einem 27 Zoll langen Stahlſtabe angeſtellt hat, ergab ſich, daß die Größe dieſer Kraft in den Stellen, deren Entfernung vom Nordende 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 war, durch die Zahlen 165, 90, 48, 23, 9, 6 ausgedrückt wurde. Derſelbe Gelehrte fand durch Rechnung, daß die Pole dieſer Stange 1 8 L. von jedem Ende entfernt waren. An rautenförmigen breiten Magnetſtäben liegen die Pole nicht weit vom Centrum. Bei ſehr kurzen Magneten befinden ſich die Pole um 1/6 der Länge von jedem Ende entfernt; breite und kurze Magnete haben oft mehrere Pole, bei Ringen liegen ſie nicht immer in einem Durchmeſſer. Bei pfeilartigen Magneten gibt es ſelten conſtante Pole. Ein bis zur Sättigung magnetiſirter, an einem Ende abgerundeter Stab hat die indifferente Stelle in der Mitte; wird jenes Ende zugeſpitzt, ſo rückt der Indifferenzpunct der Spitze näher.

38. Unterſucht man eine Stahlſtange, nachdem man ſie ein-, zwei- oder dreimal ꝛc. mit einem Magnet geſtrichen hat, ſo erfährt man den Zuwachs der Kraft, den ſie durch jeden Strich erhält, und überzeugt ſich, daß dieſe Zunahme mit jedem folgenden Strich geringer wird, je mehr ſich der magnetiſche Zuſtand der Stange jenem der Sättigung nähert. Jede Umkehrung der Pole eines Magnetes ſchwächt ſeine Empfänglichkeit für den Magnetismus, und es iſt daher ein Stab immer des ſtärkſten Magnetismus fähig, wenn ſeine Pole noch nie umgekehrt worden ſind. Ja ſelbſt wenn man einem Magnet, deſſen Pole umgekehrt worden ſind, ſeine erſtere Polarität wieder geben will, ſo iſt für ihn jene Streichmethode am ausgiebigſten, durch die er zuerſt magnetiſirt wurde. (Quetelet in *Ann. de Chim.* 53. 148.) Uebrigens iſt ein Magnet gleich nach dem Streichen, und bevor der Anker weggeriſſen worden iſt, am ſtärkſten, jedes Wegreißen des Ankers ſchwächt ſeine Kraft, aber deſto weniger, je öfter man den Anker bereits weggeriſſen hat; zuletzt kommt man dahin, daß kein weiteres Wegnehmen des Ankers mehr ſchwächend auf die magnetiſche Kraft einwirkt. Weiches Eiſen hält den Magnetismus ſtark und lange, wenn man den Anker nicht wegnimmt; das erſte Wegnehmen des Ankers vernichtet aber gewöhnlich die ganze Kraft desſelben. In einem Bündel gleich ſtark magnetiſirter Stahlſtäbe haben die äußeren ſtets eine ſtärkere Kraft als die inneren, und alle zuſammen überhaupt eine geringere als die Summe der magnetiſchen Kräfte der einzelnen Stäbe war. Dieſes ſcheint anzudeuten, daß auch in einem einzigen Stabe die magnetiſche Kraft von außen nach innen abnehme.

39. Schon durch die bloße Prüfung des Tragvermögens eines Magnetes, noch beſſer aber durch Schwingungsbeobachtungen erfährt man den Einfluß des Lichtes, der Wärme und der mechaniſchen Behandlung auf einen Magnet. Jede Erſchütterung ſchwächt den Magnetismus, Schlagen und Stoßen kann denſelben ganz vernichten, die Einwirkung des Lichtes ſoll nach Zantedeschi (Zeitſchr. 1. 365)

die magnetiſche Kraft ſteigern. Die Wärme wirkt ſchwächend auf die Kraft ſelbſtſtändiger Magnete. Schon Gilbert hat dieſes erfahren, und Sauſſure hat, um dieſen Einfluß zu erkennen, ein beſonderes Inſtrument (Magnetometer) conſtruirt, bei welchem ein Eiſenpendel durch einen Magnet deſto mehr aus der Lage, wohin es die Schwere verſetzt, gebracht wird, je mehr jener darauf wirkt. Schärfere Reſultate erhält man mittelſt der Schwingungsmethode, wie ſie Chriſtie, Hanſteen, Kupffer (*Ann. de Chim.* 30. 113) und neueſtens Rieß und Moſer (Pogg. Ann. 17. 403) zu dieſem Behufe angewendet haben. Die Unterſuchungen der letzteren haben über die Einwirkung der Wärme auf den Magnetismus zu folgenden Reſultaten geführt: Man muß eine zweifache Wirkung der Wärme auf Magnete unterſcheiden, die eine iſt bleibend, wenn auch die Temperatur, von der ſie hervorgebracht wurde, vorübergegangen iſt, die andere verſchwindet mit der ſie erzeugenden Temperatur und kehrt mit ihr wieder zurück; erſtere hängt von dem Stoffe ab, an welchen der Magnetismus gebunden iſt, und iſt daher im Eiſen anders als im Stahl, im weichen Stahl anders als im gehärteten, die letztere geht den Magnetismus allein an, und iſt von der Natur des Magnetes unabhängig; jene läßt ſich nicht im Allgemeinen in Rechnung bringen, für letztere gibt es Formeln, nach denen man ſie berechnet. Wird ein Magnetſtäbchen aus weichem Stahl in heißes Waſſer getaucht, nach dem Abkühlen unterſucht, dann wieder eingetaucht, und dieſes Verfahren hinter einander öfter wiederholt, ſo findet man ſeine magnetiſche Kraft nach jedem Eintauchen ſchwächer, wenn es auch weder durch Oxydation, noch auf andere Weiſe eine Aenderung ſeiner Natur erlitten hat, aber die Schwächung nimmt ab, je öfter man bereits den Verſuch vorgenommen hat, und zuletzt benimmt dem Magnet ein ferneres Erhitzen nichts mehr von jener Kraft, die er im kalten Zuſtande beſitzt. Magnetiſirt man ihn abermals, bis er ſeine anfängliche Kraft wieder erhalten hat, ſo wirkt eine Erhitzung gerade wie vorher auf ihn. Stäbchen aus hartem Stahl verhalten ſich ganz anders, ſie verlieren durch Erhitzen mehr als weiche, haben aber nach dem vollſtändigen Erkalten eine ſtärkere Kraft als während des Erkaltens, und verlieren, wenn man ſie mehrmal magnetiſirt und immer wieder erhitzt, dadurch jedesmal weniger, bis ſie endlich gegen jede Erhitzung ganz unempfindlich werden, und daher keiner bleibenden Einwirkung von Seite der Wärme mehr unterliegen. Bei weichem magnetiſirten Eiſen gibt es überhaupt keine ſolche bleibende Einwirkung der Wärme, und da der Magnetismus deſſelben kein anderer ſeyn kann, als jener des Stahles, und dieſer eine Schwächung durch Temperaturerhöhung erleidet, ſo geht daraus hervor, daß durch Wärme zugleich die Empfänglichkeit des Eiſens für Magnetismus erhöht wird, und daß ſich im Eiſen beide Wirkungen der Wärme compenſiren. Viel genauer iſt aber das von Weber eingeſchlagene Verfahren, welches in der Beobachtung der Veränderungen der Ablenkung beſteht, die ein den Temperaturänderungen ausgeſetzter Magnetſtab an einem andern beweglich aufge-

hängten hervorbringt. Hiezu dient vorzüglich das von Gauß angegebene, im folgenden Kapitel näher zu beſchreibende Magnetometer. Nach Weber's Beobachtungen ſind die Variationen des Stabmagnetismus 1) bei ſteigender Temperatur einem andern Geſetze unterworfen, als bei ſinkender; 2) ſie hängen von der Intenſität des Magnetismus ab, und ſind bei ſtärkerem Magnetismus weit geringer, als bei ſchwachem; 3) ſie treten nicht augenblicklich im vollen Maße ein, ſondern es dauert die Wirkung einer Temperaturänderung noch fort, wenn ſchon eine conſtante Temperatur vorhanden iſt. (Reſultate aus den Beobachtungen des magnetiſchen Vereins im Jahre 1837. Herausgegeben von C. F. Gauß und W. Weber. S. 38.)

Die vorübergehende Wirkung der Wärme läßt ſich für cylindriſche, 2 Zoll lange Stahlnadeln nach der Formel $J' = J\ (1 - 0{,}000461)\ (t' - t)\ d$, für Nadeln von 34 Linien und etwas darüber nach der Formel $J' = J\ (1 - 0{,}000324)\ (t' - t)\ d$ berechnen, wo J' und J die Intenſitäten des Magnetismus für die Temperaturen t' und t° R., und d den Durchmeſſer der Nadel in Par. L. bezeichnen. Bei Kupffer's Verſuchen hatte ein Magnetſtab, der von 13° auf 80° R. erwärmt worden war, bei letzterer Temperatur nur etwa 0,85 der vorigen Kraft, aber ſelbſt als er wieder auf 13° R. abgekühlt war, betrug ſeine Stärke nur 0,94 der urſprünglichen. Bei einer Erhöhung der Temperatur rücken die Pole dem Mittelpuncte der Stange immer näher. Etwas Aehnliches geht vor, wenn eine Eiſenſtange erwärmt wird, die bloß vom Erdmagnetismus afficirt wird. Erwärmt man nur die Hälfte eines Magnetes, ſo entfernt ſich der Indifferenzpunct vom erwärmten Ende; erkältet man eine Magnethälfte, ſo rückt dieſer Punct näher an das zugehörige Ende. Letzteres erfährt man am leichteſten, wenn man eine kleine Magnetnadel zwiſchen zwei in derſelben Horizontalebene befindliche und auf ihrer Richtung ſenkrechte Magnetſtangen ſo anbringt, daß die Nadel nicht aus dem magnetiſchen Meridiane verrückt wird, in welchem Falle die Indifferenzpuncte beider Magnete in die Richtung der Magnetnadel fallen. Wird nun die Hälfte einer der zwei Stangen erwärmt, ſo wird die Magnetnadel alſogleich abgelenkt, zum Beweiſe, daß der Indifferenzpunct verrückt worden iſt. Die Richtung dieſer Ablenkung gibt zugleich die Richtung der Bewegung des Indifferenzpunctes an. Soll ein Magnet ſeine Kraft möglichſt unverändert beibehalten, ſo muß man ihn aus glashartem Stahle verfertigen, nach dem Magnetiſiren mehrere Male hinter einander in etwa 40° heißes Waſſer tauchen, ihn möglichſt vor jeder Erſchütterung ſichern, und das Oxydiren deſſelben verhüten. Letzteres ſoll dadurch am leichteſten geſchehen, daß man ihn in Kalkwaſſer liegen läßt oder in ein Tuch wickelt, das vorläufig in Kalkwaſſer oder in eine wäſſerige Glauberſalzlöſung getaucht und hierauf gut getrocknet worden iſt.

40. Ein Magnet ſucht in jedem Körper, in deſſen Nähe er kommt, die beiden Beſtandtheile des magnetiſchen Princips von einander zu trennen und ihn ſelbſt zu einem Magnet zu machen; aber der Erfolg dieſes Beſtrebens iſt bei übrigens gleichen Umſtänden deſto bedeutender, je kleiner die Coercitivkraft eines ſolchen Körpers iſt. Darum ſind Verſuche über die Einwirkung verſchiedener Körper auf die Richtung eines frei ſchwebenden Magnets oder über die Einwirkung eines Magnets auf einen anderen frei ſchwebenden Körper beſonders geeignet, uns über

die Größe der Coercitivkraft in verſchiedenen Materien und über den Einfluß äußerer Umſtände auf dieſelbe Aufſchluß zu geben. Wenn man eiſerne Stäbe nach einander in eine gewiſſe Lage und Entfernung gegen eine ſehr bewegliche Magnetnadel bringt und die Ablenkung beobachtet, welche ſie durch jeden einzelnen erleidet; ſo erfährt man dadurch die Größe der Einwirkung dieſer Stäbe. Barlow fand auf dieſem Wege, daß Stäbe von verſchiedener Härte in der Richtung der magnetiſchen Neigung auch verſchieden auf eine Magnetnadel einwirken. Nach ſeinen Verſuchen iſt die Einwirkung des Schmiedeiſens am größten, hierauf folgt weicher Gußſtahl, dann weicher Brennſtahl, dann natürlicher weicher Stahl, hierauf derſelbe gehärtet, und zuletzt Gußeiſen. Es hat daher Schmiedeiſen die kleinſte, Gußeiſen die größte Coercitivkraft, und die der übrigen liegt in der angeführten Ordnung zwiſchen beiden. Die Coercitivkraft iſt in demſelben Eiſen bei verſchiedenen Temperaturen verſchieden, beſonders bei der Weiß- und Rothglühhitze. Biegt man ein Stück Eiſen hufeiſenförmig, ſo kann man zwiſchen die zwei Arme deſſelben, die A und B heißen mögen, einen Pol eines Magnetes ſo ſtellen, daß er durch das Eiſen keine Ablenkung erleidet, mithin beide Arme deſſelben gleich ſtark darauf einwirken. Erhitzt man nun das Eiſen in der Nähe von B bis zum Weißglühen, ſo wird der Magnet von A angezogen, thut man daſſelbe in der Nähe von A, ſo zieht B den Magnet an. Erhitzt man z. B. B bis zum Weißglühen, und hält an den hinteren Theil des Hufeiſens einen Pol eines ſtarken Magnetes, ſo erhält das kalte Ende A einen ſtärkeren Magnetismus als B, ſobald aber beim Auskühlen die Temperatur von B zur Rothglühhitze herabgeſunken iſt, hat B die größere Kraft. (Barlow in Gilb. Annalen 73. 229. Ritchie in Pogg. Ann. 14. 150.) Hieraus kann man ſchließen, daß die Coercitivkraft des weißglühenden Eiſens durch den Einfluß des Magnetes nicht überwältigt werde, die des rothglühenden hingegen leichter als die des kalten, mithin, daß die Weißglühhitze die Coercitivkraft ſteigere, die Rothglühhitze ſie hingegen ſchwäche. Merkwürdig iſt es, daß ein Stäbchen aus weichem Eiſen, deſſen Coercitivkraft durch zwei hinreichend entfernte Magnete, zwiſchen deren entgegengeſetzten Polen es ſich befindet, nicht überwältigt, und welches daher durch ſie nicht magnetiſch wird, alſogleich als Magnet erſcheint, wenn es in dieſer Lage durch einen harten Körper, wie durch Meſſing, Kupfer, Zink, Glas oder Holz der Länge nach getrieben wird.

Nach Coulomb gibt es keine Subſtanz, die gegen einen Magnet ganz unempfindlich iſt, deren Coercitivkraft daher nicht einigermaßen davon afficirt wird; denn kleine frei ſchwebende Nadeln von was immer für einem organiſchen oder unorganiſchen Stoffe nehmen eine beſtimmte Stellung an, wenn man ſie zwiſchen die entgegengeſetzten Pole ſtarker Magnete bringt, und ſetzt man ſie in Schwingungen, ſo werden ſie auffallend durch die Magnete beſchleunigt. Merkwürdig iſt es, daß alle Legirungen, die Eiſen enthalten, ja reines Eiſen ſelbſt, wenn es aus mehreren unregelmäßig angehäuften Bruchſtücken beſteht, zwiſchen den Polen ſtarker Magnete eine Lage annehmen, bei welcher ihre Längen-

axen mit der Axe der Magnete einen Winkel einſchließen, welches beweiſet, daß ſie ſelbſt magnetiſch geworden ſind, daß aber ihre Pole in einer Querlinie (transverſal) liegen. (Seebeck in Pogg. Ann. 10. 203. Becquerel ebend. 12. 622.)

41. Körper, deren Coercitivkraft gering iſt, werden ſchon durch den Erdmagnetismus in einen magnetiſchen Zuſtand verſetzt, ſobald ſie eine dazu paſſende Lage haben. Eine vertical ſtehende weiche Eiſenſtange hat immer unten einen Nordpol, oben einen Südpol, ja nach Hanſteen iſt dieſes mit jedem vertical ſtehenden Körper, ſogar mit Bäumen, Mauern ꝛc. der Fall. In einer Maſſe aus weichem Eiſen oder Stahl bringt das Vorhandenſeyn der abſichtlich durch Magnetiſiren und der durch die Erde erzeugten magnetiſchen Kraft merkwürdige Erſcheinungen hervor. An einem magnetiſirten Stahlſtabe iſt in einer verticalen Stellung deſſelben der Magnetismus ſtets größer, wenn der Nordpol abwärts gekehrt iſt, als wenn er aufwärts gerichtet iſt, weil im erſten Falle die vom Erdmagnetismus erregten Pole mit den gleichnamigen, im zweiten hingegen mit den ungleichnamigen, künſtlich erzeugten zuſammenfallen. Beſonders auffallend iſt das Verhalten regulärer, z. B. ſphäriſcher oder kubiſcher, vom Erdmagnetismus afficirter Körper, welches zuerſt Barlow (Gilb. Ann. 73. 1) und hierauf Schmidt (ebend. 74. 225) näher unterſucht haben. Nach Barlow gibt es in einer Kugel gewiſſe Kreiſe, in welchen ſie auf einen Magnet gar nicht einwirkt, während ſie in anderen Stellungen bald anziehend, bald abſtoßend wirkt. Daſſelbe findet mit Würfeln Statt. Iſt z. B. SN (Fig. 214) eine horizontal ſchwebende Magnetnadel, C ihr Mittelpunct, I, II, III eine ſtörende Eiſenmaſſe in drei verſchiedenen Lagen, wovon I ſo ſteht, daß der durch den Mittelpunct der Magnetnadel C gehende magnetiſche Aequator CD den Mittelpunct der Eiſenmaſſe trifft. In jeder der drei Lagen iſt die Eiſenmaſſe durch den Erdmagnetismus in zwei magnetiſche Hälften getheilt, s ihr Südpol, n ihr Nordpol, während N der Nordpol und S der Südpol der Magnetnadel iſt. s wirkt auf N anziehend und auf S abſtoßend, n hingegen auf N abſtoßend und auf S anziehend. Die Pole n und s wirken auf N ſtärker als auf S, und beide Wirkungen erfolgen zuſammen eben ſo, als wenn N und S in C vereinigt wären. Deßhalb müſſen n und s in I auf C gleich ſtark, aber entgegengeſetzt wirken, und können keine Ablenkung der Magnetnadel hervorbringen, während in II der Pol n und in III der Pol s vorherrſchend auf C wirkt, und daher dort der Nordpol der Nadel abgeſtoßen, hier angezogen wird. Dieſem gemäß ſind leicht zwei Eiſenmaſſen denkbar, die auf eine Magnetnadel zwei gleiche und entgegengeſetzte Eingriffe ausüben und ſie daher gar nicht aus ihrer Lage bringen, und man wird ſich vorſtellen können, wie die Wirkung einer Eiſenmaſſe auf einen Magnet durch Zugabe einer andern Eiſenmaſſe, die eine beſtimmte Stellung einnimmt, aufgehoben werden könne. Von dieſer Art iſt die ſogenannte neutraliſirende Platte, welche Barlow auf Schiffen

anbringt, um durch ſie den Einfluß des Eiſens auf den Compaß bei jeder Ortsveränderung des Schiffes aufzuheben.

42. Im Allgemeinen iſt die Wirkung einer Eiſenmaſſe, die ihren Magnetismus dem Einfluſſe eines conſtanten Magnetes verdankt, ein zuſammengeſetztes Phänomen, beſtehend aus dem Complexe der Actionen ſämmtlicher freien Magnetismen, ſowohl in dem Magnete, als auch in der Eiſenmaſſe. Damit ein Körper magnetiſche Kräfte offenbaren könne, müſſen die Magnetismen ſeiner Elemente geſchieden ſeyn; ein ſolcher Körper iſt im unmagnetiſchen Zuſtande, wenn von jedem Puncte desſelben gleiche und entgegengeſetzte magnetiſche Kräfte ausgehen, deren Actionen ſich wechſelſeitig tilgen; die Scheidung der Magnetismen bewirkt, daß nunmehr von den Puncten des Körpers nicht durchgehends gleiche und entgegengeſetzte magnetiſche Kräfte ausgeübt werden; der Ueberſchuß der einen Kraft über die andere in jedem einzelnen Puncte iſt das, was wir den freien Magnetismus dieſes Punctes nennen. Ein Magnet, dem ein Anker vorgelegt wird, erſcheint bezüglich ſeiner Wirkung nach außen geſchwächt, weil ein Theil ſeiner Action durch die entgegengeſetzte Action des nunmehr mit freien Magnetismen verſehenen Ankers aufgehoben wird. Hiernach erhalten die Redensarten mancher Phyſiker, welche von einem wechſelſeitigen Binden der Magnetismen und der damit zuſammenhängenden Unterdrückung der Wirkungsfähigkeit nach außen ſprechen, ihre wahre Deutung. Ein Gleiches gilt von dem Hemmen der magnetiſchen Kraft durch Körper, welche der Magnetiſirung fähig ſind. Ein intereſſantes hieher gehörendes Theorem hat Poiſſon durch Rechnung gefunden. Denkt man ſich einen Magnet, wo immer im Innern einer durch zwei concentriſche Kugelflächen begrenzten Maſſe weichen Eiſens, ſo iſt die Action des Magnetes und der Eiſenmaſſe auf jeden äußeren Punct $= 0$. Eben ſo verſchwindet die Action eines äußeren Magnetes bezüglich jedes Punctes im Innern der Hohlkugel.

Viertes Kapitel.

Nähere Betrachtung des Erdmagnetismus.

43. Sobald man der Magnetnadel nur einige Aufmerkſamkeit widmete, mußte man die Bemerkung machen, daß die magnetiſche Abweichung und eben ſo die Neigung, nicht bloß an verſchiedenen Orten der Erde verſchieden ſey, ſondern auch an demſelben Orte fortwährend Veränderungen unterliege. Da nun die Abweichung und Neigung die Richtung der erdmagnetiſchen Kraft beſtimmen, ſo lag die Veränderlichkeit dieſer Richtung nach Ort und Zeit vor Augen, und ein Gleiches ließ ſich auch von der Größe der erdmagnetiſchen Kraft vermuthen. Die Aeußerung der magnetiſchen Kraft iſt eine Eigenſchaft unſeres Erdkörpers, die mit der Beſchaffenheit desſelben in einem noth-

wendigen Zuſammenhange ſteht; und die Kenntniß derſelben iſt daher eines der Elemente, aus denen ſich die Kenntniß des Erdkörpers ſelbſt zuſammenſetzt.

Schon dieſer Umſtand allein rechtfertigt das hohe Intereſſe, welches die Unterſuchung des Erdmagnetismus längſt bei den Phyſikern gefunden hat. Der Nutzen, mit welchem der Compaß in der Navigation, Geodäſie ꝛc. gebraucht wird, verleiht dieſem Intereſſe noch eine allgemeinere praktiſche Seite. Die Unvollkommenheit der Beobachtungsmethoden entzog bis zu den letzteren Jahren manche wichtige Thatſache der Wahrnehmung; allein ſeitdem Gauß den Hilfsmitteln zur Beſtimmung der Größen, die rückſichtlich der erdmagnetiſchen Kraft in Frage kommen, den Grad der Präciſion zu ertheilen wußte, deſſen ſich die aſtronomiſchen Beobachtungen ſeit geraumer Zeit erfreuen, beginnt eine neue Epoche des Fortſchrittes unſerer Kenntniß des Erdmagnetismus, und es läßt ſich bei der allgemeinen Theilnahme an dieſem Gegenſtande und nach den bereits erzielten Reſultaten eine baldige ergiebige Ernte erwarten.

44. Die vollſtändige Kenntniß der erdmagnetiſchen Kraft an einem gegebenen Orte und in einem gegebenen Augenblicke beruht auf der Beſtimmung dreier Größen, wozu man am ſchicklichſten die Abweichung, die Neigung und die Größe der horizontalen Componente dieſer Kraft wählt. Letztere Componente werden wir der Kürze wegen mit Gauß die horizontale Intenſität nennen. Wie bereits bemerkt wurde, geben die Abweichung und Neigung mit einander verbunden die Richtung der erdmagnetiſchen Kraft zu erkennen, die Größe dieſer Kraft aber erhält man, wie an dem entſprechenden Parallelogramm der Kräfte leicht zu ſehen iſt, wenn man die horizontale Intenſität durch den Coſinus der Neigung dividirt. Man kann ſich bei den auf den Erdmagnetismus Bezug habenden Beobachtungen entweder die Angabe der Abweichung, der Neigung, der horizontalen Intenſität an ſich betrachtet, d. h. die Beſtimmung der abſoluten Werthe dieſer Größen zum Ziele ſetzen, oder bloß die Variationen erforſchen, denen die genannten Größen innerhalb eines beliebigen Zeitraumes unterworfen ſind. Die Beſtimmung der Variationen verdient deßhalb eine beſondere Beachtung, weil ſie in der Regel bei weitem leichter und ſchneller bewerkſtelliget wird, als eine abſolute Meſſung, die mehr Zeit erfordert, ſchwieriger auszuführen und daher nicht geeignet iſt, die während einer kurzen Zeit an der erdmagnetiſchen Kraft obwaltenden Veränderungen wahrzunehmen.

45. Zur Beſtimmung der abſoluten Werthe der Abweichung, wie auch ihrer Veränderungen, welchem Gegenſtande man ſtets die größte Aufmerkſamkeit widmete, hat man längſt eigene Inſtrumente, ſogenannte Declinatorien conſtruirt, die meiſtens complicirt gebaut und koſtſpielig ſind. Allen bis jetzt bekannten macht das von Gauß angegebene Magnetometer den Rang ſtreitig. Dieſes beſteht aus einem 1 — 25 Pfund ſchweren, an Seidenfäden oder Metalldraht hängenden Magnetſtabe von 1 — 4 Fuß Länge und angemeſſener Breite und Dicke. An einem Ende dieſes Stabes iſt ſenkrecht darauf ein klei-

ner Planſpiegel aufgeſetzt. Der Stab befindet ſich in einem Kaſten, durch deſſen Decke der Aufhängungsfaden geht, und der an der Seitenwand, welcher der Spiegel zugekehrt iſt, eine Oeffnung hat, die etwas größer iſt als jener Spiegel. Dieſem gegenüber, etwa in der Entfernung von 16 Fuß befindet ſich ein Theodolith, deſſen Fernrohr die Axe im magnetiſchen Meridian hat, und auf die Mitte des Spiegels gerichtet iſt. Der Theodolith ſteht etwas höher, als die Magnetnadel hängt, und daher muß das Fernrohr ſtets etwas nach abwärts geneigt ſeyn. Am Stativ des Theodolith befindet ſich eine in Millimeter getheilte, horizontal laufende Scale, in einer auf den magnetiſchen Meridian ſenkrechten Richtung. Durch das Fernrohr ſieht man im Spiegel einen Theil der Scale, und kann leicht wahrnehmen, welcher Theilſtrich durch den Ocularfaden im Geſichtsfelde des Fernrohres gedeckt wird. Aendert ſich die Lage des Magnetſtabes, ſo tritt ein anderer Theilſtrich unter den Ocularfaden. Der Werth des Abſtandes zweier Theilſtriche der Scale kann nach der bekannten Entfernung des Fernrohres und der Scale vom Spiegel im Bogenmaße gefunden werden. Von der Mitte des Objectivs hängt ein feiner, durch ein Gewicht geſpannter Faden herab, und bezeichnet auf der Scale den Punct, welcher mit der optiſchen Axe des Fernrohres in derſelben Verticalebene liegt. Hiernach erkennt man leicht, ob keine Aenderung in der Lage der Scale gegen das Fernrohr Statt gefunden habe. Zur Wahrnehmung einer etwa vorgegangenen Veränderung in der Lage des Fernrohres ſelbſt, dient ein Strich (eine Mire) an der gegenüberſtehenden Wand des Locales, worin das Inſtrument aufgeſtellt iſt, den man ohne Verſtellung des Oculars des Fernrohres deutlich ſehen kann, und der ſtets mit dem Ocularfaden übereinſtimmen muß. Zu dem Gebrauche des Inſtrumentes iſt noch eine gute Uhr erforderlich. Handelt es ſich um bloße Beobachtung der Aenderungen der Declination, ſo braucht das Locale eben nicht eiſenfrei zu ſeyn, nur muß dafür geſorgt ſeyn, daß Eiſenmaſſen, die auf die Lage des Magnetſtabes einen merklichen Einfluß haben können, während der Beobachtung in ungeänderter Poſition verbleiben. Zu abſoluten Declinationsbeſtimmungen aber muß jeder ſtörende Einfluß von Körpern, die des Magnetismus fähig ſind, beſeitiget werden.

Eine ausführliche Beſchreibung aller Theile des Magnetometers findet man in Gauß und Weber's Reſultaten aus den Beobachtungen des magnetiſchen Vereins im Jahre 1836. S. 13. Weber hat das Inſtrument auf kleine Dimenſionen gebracht und für Reiſen ꝛc. tragbar eingerichtet (Reſultate für 1838. S. 68). Auch ſind bereits Abänderungen der urſprünglichen Einrichtung beſonderer Localitätsverhältniſſe wegen verſucht worden. (Collimator, Kreil's Spiegelmire.)

46. Die continuirliche Beobachtung der Stellung des Magnetſtabes in kleinen unmittelbar auf einander folgenden Zeitintervallen läßt auf die vorgefallenen Aenderungen der Abweichung, d. i. der Lage des magnetiſchen Meridians ſchließen, ſobald man im Stande iſt, aus den fortwährenden Schwingungen, in welchen der Magnetſtab in Folge

der bereits erfahrenen Störungen ſich befindet, die Stellung abzuleiten, die er in gewiſſen nicht weit von einander entfernten Zeitpuncten haben würde, wenn er in Ruhe wäre. Dieß iſt durch ein beſonderes Beobachtungsverfahren leicht zu erzielen. Man darf nämlich das Mittel aus zwei Stellungen des Stabes, die zweien genau um eine Schwingungsdauer deſſelben von einander abſtehenden Augenblicken entſprechen, als die Lage des magnetiſchen Meridians für den in der Mitte zwiſchen die vorgenannten Augenblicke fallenden Zeitpunct anſehen. Iſt alſo t die Schwingungsdauer des Stabes, und ſind S, S′ die Zahlen auf der Scale, welche am Ende der Zeiten $\theta - \frac{1}{2}t$, $\theta + \frac{1}{2}t$ vom Ocularfaden gedeckt werden, ſo iſt $\frac{1}{2}(S + S')$ die Zahl, welche der Lage des magnetiſchen Meridians für das Ende der Zeit θ entſpricht. Zu größerer Sicherheit können mehrere Beobachtungen, die ſich auf die Zeiten $\theta - \frac{5}{2}t$, $\theta - \frac{3}{2}t$, $\theta - \frac{1}{2}t$, $\theta + \frac{1}{2}t$, $\theta + \frac{3}{2}t$, $\theta + \frac{5}{2}t$ beziehen, gemacht, aus je zwei auf einander folgenden Reſultaten das Mittel genommen und der fünfte Theil der Summe dieſer Mittel als eine vollkommen verläßliche Angabe der Stellung des magnetiſchen Meridians für das Ende der Zeit θ betrachtet werden. Die ſo erhaltenen Angaben für eine Reihe von Zeiten θ, θ', θ'', ... ſtellen die ſucceſſiven Variationen der magnetiſchen Abweichung vor Augen. Man kann aus jeder ſolchen Angabe S in Scalentheilen ſogleich die correſpondirende abſolute Abweichung D im Bogenmaße ableiten, wenn man jene Stellung des Stabes, bei welcher die magnetiſche Axe deſſelben in die durch die optiſche Axe des Fernrohres gehende Verticalebene fällt, und die Lage dieſer Ebene gegen den magnetiſchen Meridian kennt. Man findet den Werth von D aus einer Formel von der Geſtalt $D = a - bS$, worin a und b Zahlwerthe bedeuten, die nach den beſonderen Verhältniſſen des geſammten Apparates ein für allemal zu beſtimmen ſind, und ſo lange gelten, als an der Aufſtellung deſſelben nichts geändert wird. Die Erklärung der zur Beſtimmung genannter Zahlwerthe dienenden Operationen und Rechnungen überſchreitet jedoch die Grenzen des vorliegenden Buches. (Reſultate f. 1836. S. 34, f. 1837. S. 104.)

47. Das Magnetometer dient auch zur Ausmittelung des Werthes der horizontalen Intenſität der erdmagnetiſchen Kraft. Zu dieſem Behufe wird ein zweiter Magnetſtab, Ablenkungsſtab genannt, in dem Bereiche des Magnetometerſtabes ſo aufgeſtellt, daß die Richtung der Längenaxe des Ablenkungsſtabes auf dem magnetiſchen Meridian ſenkrecht ſteht, und die Axe des Magnetometerſtabes halbirt, und es wird die dadurch am Magnetometer hervorgebrachte Ablenkung v, wie auch die Diſtanz a der Mittelpuncte beider Stäbe gemeſſen. Man läßt ferner den Ablenkungsſtab horizontal ſchwingen, und beobachtet die Dauer t einer Schwingung. Endlich beſtimmt man das Trägheitsmoment K deſſelben hinſichtlich der Schwingungsaxe. Hiernach hat man alle Daten, um nach der in 33 entwickelten Formel den Werth T der horizontalen Intenſität der erdmagnetiſchen Kraft zu berechnen.

Das Trägheitsmoment K kann man unter Vorausſetzung einer parallelepipediſchen Geſtalt und gleichförmigen Dichte des Ablenkungsſtabes unmittelbar durch Rechnung beſtimmen. Iſt A die Länge, B die Breite, Q die Maſſe des Stabes, ſo iſt, wie der Calcul lehrt, $K = \frac{1}{12}(A^2 + B^2)\,Q$. Will man aber der Annahme einer geometriſch richtigen Form und gleichförmigen Dichte des Magnetes kein Vertrauen ſchenken, ſo thut man beſſer, die Schwingungen deſſelben bei verſchiedener Belaſtung zu beobachten, indem man einen Holzſtab quer über den Magnet gehen läßt und in gleichen Abſtänden dießſeits und jenſeits gleiche Gewichte an den Holzſtab hängt, die nur mittelſt Spitzen darauf drücken. Iſt q die Maſſe jedes der Gewichte, und ſind r′, r″ die Entfernungen derſelben von der Mitte des Holzſtabes bei zwei verſchiedenen Verſuchen, t′, t″ die entſprechenden Schwingungszeiten des belaſteten Magnetes, ſo hat man $\frac{K}{t^2} = \frac{2q\,(r'^2 - r''^2)}{t'^2 - t''^2}$, mithin $T = 2\pi \sqrt{\left(\frac{q\,(r'^2 - r''^2)}{a^3\,(t'^2 - t''^2)\,tang\,v}\right)}$. Hiebei iſt noch zu bemerken, daß die Reſultate genauer werden, wenn man mehrere Ablenkungsverſuche bei verſchiedenen Stellungen des Ablenkungsſtabes macht und daraus das Mittel nimmt. Die Operationen zur Beſtimmung von T laſſen ſich mit ſehr einfachen Apparaten vornehmen; man kann ſich, wie *Weber* gezeigt hat (Reſultate des magn. Ver. für 1836. S. 63), mit einer Bouſſole, einem Magnetſtäbchen und einem Maßſtabe behelfen, und erzielt dennoch Reſultate, die eine annehmbare Genauigkeit haben.

48. Um die in kleinen Zeitabſchnitten vor ſich gehenden Variationen der horizontalen Intenſität erſichtlich zu machen, dient eine beſondere Aufhängungsart eines Magnetſtabes, mittelſt welcher man denſelben aus der Ebene des magnetiſchen Meridians herauszugehen und ſich ſenkrecht gegen dieſe Ebene zu ſtellen nöthiget. Es wird nämlich der Magnet an zwei langen Fäden, oder vielmehr an einem einzigen Faden aufgehängt, deſſen Enden am Stabe befeſtiget ſind, während die Mitte des Fadens oben über zwei Cylinder geht, die nahe ſo weit von einander abſtehen, als die unteren Aufhängepuncte. Wäre der Stab nicht magnetiſch, ſo würden ſich die Fäden ſo richten, daß ſie eine parallele Lage bekommen; in jeder andern äußern ſie eine Kraft ähnlich der Torſion, die ſie in die parallele Lage zurückzuführen ſtrebt. Je weiter die Befeſtigungspuncte der Fäden von einander abſtehen, deſto größer iſt dieſe Kraft bei einerlei Ablenkungswinkel des Stabes. Aendert man die Stellung der Verbindungslinie der obern oder untern Befeſtigungspuncte gegen den Stab, und bringt durch dieſes die richtende Kraft der Fäden mit dem Magnetismus des Stabes in Conflict, ſo hat man es in ſeiner Gewalt, ihm jede Lage gegen den magnetiſchen Meridian anzuweiſen. In der ſenkrechten Poſition gegen den magnetiſchen Meridian wird er von einer Aenderung der Deklination ganz unmerklich, dafür aber von der geringſten Aenderung der horizontalen Intenſität ſehr merklich afficirt. Zur Wahrnehmung der Aenderungen der Lage des Stabes dient ein auf demſelben (in der Mitte) angebrachter Spiegel, in welchem man eine entfernte Scale durch ein Fernrohr betrachtet. Dieſer Apparat heißt das *Bifilar-Magnetometer* zum Unterſchiede von dem vorhin beſchriebenen, welches nunmehr das *Unifilar-Magnetometer* genannt wird. (Reſultate für 1837. S. 1 u. 20.)

49. Zur Beſtimmung der magnetiſchen Neigung hat man ein beſonderes Inſtrument, welches magnetiſches Inclinatorium heißt. Die Conſtruction eines ſolchen Inſtrumentes iſt bedeutenden Schwierigkeiten unterworfen, weil es ſehr ſchwer hält, einen Magnet genau in ſeinem Schwerpuncte zu unterſtützen und um eine horizontale Axe ſehr beweglich zu machen. Indeß kann man durch ein von J. Mayer angegebenes, ſehr ſinnreiches Verfahren doch ſehr genaue Reſultate erhalten. Es beruht auf der Combination von vier Beobachtungen, die ſich durch Umlegen der Nadel und Umkehrung ihrer Pole ergeben. Man kann aber auch aus der Anzahl der Schwingungen, welche dieſer Magnet in einer gewiſſen Zeit macht, wenn er in der Ebene des magnetiſchen Meridians und dann in einer darauf ſenkrechten verticalen Ebene oſcillirt, ſeine Neigung mit großer Schärfe beſtimmen. Oſcillirt nämlich eine Inclinationsnadel in der Ebene des magnetiſchen Meridians, ſo wirkt auf ſelbe die ganze Kraft des Erdmagnetismus = P; geſchehen aber die Oſcillationen in einer darauf ſenkrechten (verticalen) Ebene, ſo bewegt ſie nur der vertical wirkende Theil des Erdmagnetismus. Iſt I die magnetiſche Neigung, ſo iſt letztere Kraft P *sin* I. Werden in einer gewiſſen Zeit in erſterer Ebene N, in der zweiten n Oſcillationen gemacht, ſo hat man

$$N^2 : n^2 = P : P \sin I, \text{ und daher } \sin I = \frac{n^2}{N^2}.$$

Auch die Variationen der Inclination laſſen ſich mittelſt eines um eine horizontale, auf den magnetiſchen Meridian ſenkrechte Axe leicht drehbaren Magnetſtabes beobachten, wenn dafür geſorgt wird, die geringſten Aenderungen ſeiner Stellung erſichtlich zu machen, wozu gleichfalls ein am Magnetſtabe befeſtigter Spiegel dienen kann, der das von einer entfernten Scale kommende Licht in das Fernrohr des Beobachters ſendet. Einen Apparat dieſer Art hat Kreil angegeben. Reſultate für 1839. S. 95, und: Magnetiſche und meteorologiſche Beobachtungen zu Prag ꝛc. auf öffentliche Koſten herausgegeben von K. Kreil. Erſter Jahrgang. Prag, 1841. S. 24, in welchem Werke man auch über die Einrichtung und den Gebrauch der andern, auf die erdmagnetiſche Kraft ſich beziehenden Meßapparate viel Lehrreiches findet.

50. Die Aenderungen, welchen die Richtung und Größe der erdmagnetiſchen Kraft und daher auch die Beſtimmungsſtücke derſelben unterliegen, kann man in regelmäßige und unregelmäßige eintheilen. Die erſteren, welche einem Geſetze unterliegen, mithin, wenn dieſes durch Beobachtungen feſtgeſtellt worden iſt, ſich vorherſagen laſſen, zerfallen wieder in seculäre, die erſt nach einer langen Zeit in die Augen fallen, wenngleich ſie endlich ſehr beträchtlich werden, und in periodiſche, welche innerhalb gewiſſer Grenzen in beſtimmten Zeitabſchnitten hin und her ſchwanken. Dieſe letzteren zeigen einen auffallenden Zuſammenhang mit der Stellung der Sonne und des Mondes gegen die Erde, weßwegen man eine tägliche und eine jährliche Periode der Aenderungen des Erdmagnetismus in Betrachtung ziehen kann. Die ſo eben erwähnten regelmäßigen Va-

riationen erſcheinen aber nicht fortwährend in ihrer Reinheit, ſondern es treten häufig kleine, manchmal aber auch ſehr bedeutende Abweichungen von der Regel ein. Man nennt ſie unregelmäßige Variationen oder Störungen der erdmagnetiſchen Kraft.

51. Da man unter den Beſtimmungsſtücken der erdmagnetiſchen Kraft der Abweichung der Magnetnadel die meiſte Aufmerkſamkeit widmete, ſo ſind auch die ſeculären Aenderungen derſelben beſſer bekannt, als jene der Neigung, für welche man nur dürftige Daten beſitzt. Die Intenſität des Erdmagnetismus wurde bis zur neueſten Zeit faſt gar nicht unterſucht. Die erſten Wahrnehmungen einer Aenderung der Abweichung fallen in das ſechzehnte Jahrhundert, doch hat man erſt in der erſten Hälfte des ſiebzehnten das Vorhandenſeyn derſelben mit Beſtimmtheit erkannt. In Europa war die Abweichung des Nordpoles der Magnetnadel vom aſtronomiſchen Meridian im ſechzehnten Jahrhundert öſtlich; die Nadel näherte ſich von da an fortwährend der Mittagslinie, und die Abweichung ging ſodann in eine weſtliche über, die bis zu einem Maximum zunahm, hierauf aber wieder abnahm. Dieſe Abnahme der weſtlichen Declination dauert in unſeren Tagen fort; es iſt daher mit Grund zu erwarten, der magnetiſche Meridian werde mit dem aſtronomiſchen wieder zuſammenfallen und hierauf die Abweichung des Nordpoles der Nadel eine öſtliche werden, ſo daß der magnetiſche Meridian zu beiden Seiten des aſtronomiſchen Schwingungen von ſehr großer Dauer macht. Zum Beleg des Geſagten mag der Gang der Declination zu Paris dienen. Der mittlere Werth derſelben war im Jahre 1580: 11° 30′ öſtlich, im J. 1610: 8°, im J. 1663: 0°. Damals fiel alſo der magnetiſche Meridian mit dem aſtronomiſchen zuſammen. Im J. 1700 betrug die Abweichung ſchon 8° 10′ weſtlich, im J. 1780: 19° 55, im J. 1814: 22° 34′, womit ſie ihr Maximum erreichte; von da an wandte ſich die Magnetnadel wieder in einem langſamen Gange gegen Oſten und im J. 1835 war die weſtliche Abweichung auf 22° 4′ geſunken. So viel man über den Gang der magnetiſchen Neigung weiß, ſo nimmt dieſelbe gegenwärtig in Europa ab. Nach Hanſteen betrug die jährliche Abnahme um das Jahr 1780: 5′—6′; im J. 1830 aber nur 3′. Es dürfte daher die Neigung gegen das Ende dieſes Jahrhunderts ihren kleinſten Werth erreichen.

52. Daß die Abweichung der Magnetnadel einer täglichen Aenderung unterliegt, weiß man ſeit 1683; daß ſie ihren Stand ſogar von Stunde zu Stunde ändert, hat zuerſt Graham, Mechaniker zu London, im Jahre 1722 entdeckt. Seitdem, beſonders in neuerer Zeit, iſt der Gang der täglichen Declinations-Variationen vielfach unterſucht worden, und man hat ihre Geſetze, und in dem Inbegriffe ihrer Erſcheinungen auch ihre jährliche Periode mit Beſtimmtheit erkannt. Der Erfahrung gemäß bewegt ſich der Nordpol einer empfindlichen Magnetnadel den Tag über ein oder mehrere Male von einem öſtlichen Stande (für unſere Gegenden, wo die Abweichung eine weſtliche iſt) dem Minimum der Declination,

zu einem weſtlichen Stande, dem Declinations-Maximum. Die Maxima und Minima befolgen eine feſte Regel; ſie treten nämlich zu gewiſſen Stunden des Tages ein, oder es ändern ſich wenigſtens die Zeiten derſelben innerhalb feſtgeſetzter Grenzen nur allmälig, und es ſind dieſe Zeiten für verſchiedene ſelbſt bedeutend von einander entfernte Orte dieſelben, woraus folgt, daß der Anfang einer Oſcillation des magnetiſchen Meridians mit der Sonne fortrücke. Dieß vorausgeſetzt, kann die an einem Orte gemachte Erfahrung ein Bild von den Vorgängen an andern Orten geben. Deßhalb wollen wir hier die Ergebniſſe der vollſtändigſten bis jetzt durchgeführten Beobachtungsreihe mittheilen, nämlich jener, welche Kreil zu Prag vom 1. Juli 1839 bis letzten Juli 1840 angeſtellt hat, innerhalb welcher Zeit an einem ſehr genauen Apparate mit wenigen Ausnahmen die Abweichungsnadel ſtündlich beobachtet wurde. Dieſe Beobachtungsreihe beſtätiget nicht nur ſchon früher bekannte Thatſachen, ſondern ertheilt auch über manches vordem nur unvollkommen Wahrgenommene beſtimmte Aufklärung. Folgende Sätze können als gehörig begründet angeſehen werden: 1) Man muß die Variationen der Declination in den Wintermonaten von jenen der Sommermonate unterſcheiden. In den erſteren ergeben ſich zwei Maxima und Minima, in den letzteren aber nur ein Maximum und ein Minimum. 2) Durch das ganze Jahr hindurch zeigt ſich um 1 Uhr Nachmittag ein Maximum der Declination, welches, wenn ein zweites tägliches Maximum Statt hat, das größere iſt. Der Nordpol der Nadel hat alſo um 1 Uhr den weſtlichſten Stand. Von da an bewegt ſich die Nadel gegen Oſten. 3) In den Wintermonaten erreicht die Declination in den ſpätern Abendſtunden ein Minimum, hierauf in den Stunden nach Mitternacht ein zweites Maximum, endlich zwiſchen 8 und 9 Uhr Morgens das zweite Minimum. 4) Im Sommer findet das Minimum um 6 Uhr Morgens Statt. 5) Die Amplitude der Oſcillation iſt im Sommer nahe dreimal ſo groß als im Winter. 6) Um 10 Uhr Vormittags und von 6—8 Uhr Abends entfernt ſich die Declination ſehr wenig von dem für dieſe Stunde geltenden Jahresmittel. 7) Die von Kreil früher zu Mailand gemachte Bemerkung, daß die Declination nicht bloß vom Sonnen-, ſondern auch vom Mondesſtande abhänge, wird durch die Prager Beobachtungen beſtätiget. Dieſem gemäß herrſcht auf der Mondeshälfte, welche der Erde zugekehrt iſt, der Nordmagnetismus vor, ſo daß der Südpol einer Magnetnadel vom Monde angezogen wird. Die Declination iſt alſo größer, wenn der Mond öſtlich vom magnetiſchen Meridian ſteht, als wenn er ſich weſtlich davon befindet. (S. das oben angeführte Werk: Magnetiſche und meteorologiſche Beobachtungen zu Prag ꝛc. S. 59)

53. In Betreff der periodiſchen Variationen der Inclination iſt bisher nur von Kreil eine über einen größeren Zeitraum ſich erſtreckende Reihe von Beobachtungen unternommen worden, bei der die Zeitintervalle zwiſchen je zweien dennoch von ſolcher Kleinheit ſind, daß daraus der Gang dieſer Variationen während eines Tages mit

Sicherheit entnommen werden kann. Es ſind dieß ſtündliche Inclinationsbeobachtungen, welche zu Prag angeſtellt werden, wovon die Reſultate vom 1. Juli 1839 bis 31. Juli 1840 vorliegen. Sie lehren, daß die Inclination in der Regel täglich zu einem dreifachen Maximum und einem eben ſo vielfachen Minimum gelange. Es erreicht die Inclination ihr erſtes Maximum im Sommer zwiſchen 8 und 9 Uhr, im Winter zwiſchen 10 und 11 Uhr Vormittags; um Mittag tritt das erſte Minimum ein; das zweite Maximum findet durch das ganze Jahr um 3 Uhr Nachmittag, das zweite Minimum in den ſpäteren Abendſtunden Statt; um oder nach Mitternacht tritt das dritte Maximum ein, das in manchen Monaten die beiden andern überſteigt, und hierauf in den Morgenſtunden das dritte Minimum. (S. Beobachtungen zu Prag. S. 78.)

54. Ueber die periodiſchen Variationen, ſowohl der horizontalen Intenſität, als auch der magnetiſchen Totalkraft hat gleichfalls Kreil eine belehrende Reihe von Beobachtungen bekannt gemacht. Dreijährige Beobachtungen über den erſten Gegenſtand zu Mailand, und dann die Beobachtungen zu Prag über beide lehren Folgendes: Die horizontale Componente der erdmagnetiſchen Kraft zeigt eine tägliche Variation mit einem Minimum und einem Maximum. Erſteres tritt im Sommer um 10 Uhr Vormittags, letzteres um 8 Uhr Abends ein; im Winter erfolgen dieſe Extreme etwas ſpäter. Die Intenſität der Totalkraft gelangt in den erſten Morgenſtunden zu einem Maximum, Nachmittag zu einem Minimum, worauf Abends um 8 Uhr ein zweites Maximum zu folgen ſcheint. Doch bedarf der letztere Punct noch fernerer Unterſuchung. An dem Gange der Variationen der horizontalen Intenſität läßt ſich auch der Einfluß des Mondes deutlich erkennen.

Ueber die periodiſchen Variationen der Declination, Inclination, Intenſität an weit entlegenen Orten und insbeſondere auf der ſüdlichen Halbkugel läßt ſich aus Mangel zureichender Beobachtungen im gegenwärtigen Augenblicke nur wenig Verläßliches ſagen. Man nimmt an, daß die täglichen Bewegungen der Magnetnadel auf der ſüdlichen Hemiſphäre jenen auf der nördlichen entgegengeſetzt ſeyen. Im Allgemeinen wachſen die Variationen gegen die Pole hin, und zeigen ſich am Aequator am geringſten. Es läßt ſich mit Grund erwarten, daß die Ergebniſſe der engliſchen Expeditionen binnen wenigen Jahren über dieſen Gegenſtand vielfache Aufſchlüſſe ertheilen werden.

55. Die im Vorhergehenden betrachteten regelmäßigen Aenderungen der Beſtimmungsſtücke der erdmagnetiſchen Kraft ſind häufig mit unregelmäßigen Aenderungen, ſogenannten Störungen verknüpft, welche, wenn die Beobachtungen ſich nicht über einen größeren Zeitraum erſtrecken, erſtere Variationen ganz unkenntlich machen können. Derlei Störungen mögen zum Theile wohl localen Urſachen zuzuſchreiben ſeyn, allein die von Gauß zuerſt ins Werk geſetzten Beobachtungen mit dem Unifilar- und Bifilarmagnetometer geben zu erkennen, daß den meiſten Störungen Urſachen zum Grunde liegen, die einen großen Theil der Erdfläche afficiren. Stellt man die Variatio-

nen der Declination graphiſch dar, indem man die Zeit als Abſciſſe, die Aenderung der Declination als Ordinate einer krummen Linie betrachtet, ſo ſtimmen die Curven, welche eine Reihe gleichzeitiger in kleinen Zeitintervallen gemachten Beobachtungen an entfernten Orten, als Göttingen und Mailand darlegen, nicht bloß der Hauptform nach auf eine überraſchende Weiſe mit einander überein, ſondern ſelbſt kleine Biegungen der einen Curve laſſen ſich in der andern wieder erkennen. Ein Gleiches gilt von den Variationen der horizontalen Intenſität.

Die erſte Wahrnehmung der wunderbaren Harmonie der Declinationsbeobachtungen wurde im Jahre 1834 an den Reſultaten von Beobachtungen gemacht, welche zu Göttingen und auf Verabredung gleichzeitig an andern Orten in Deutſchland mit Gauß'ſchen Apparaten angeſtellt wurden, und bei welchen die Zeitintervalle, welche die einzelnen Aufzeichnungen des Standes der Nadel trennten, möglichſt klein waren. Seitdem wird an vielen Orten zu beſtimmten Zeiten (Terminen), gegenwärtig viermal im Jahre, durch 24 Stunden von 5 zu 5 Minuten ſowohl der Gang der Declination, wie auch jener der horizontalen Intenſität beobachtet. Die Termine endigen am letzten Sonnabend der Monate Februar, Mai, Auguſt, November Abends 10 Uhr nach mittlerer Göttinger Zeit. Auf dieſe Art beſteht gleichſam ein magnetiſcher Verein, deſſen Centralpunct Göttingen iſt. Da dieſelben Termine auch von den Beobachtern eingehalten werden, welche die großbrittanniſche Regierung an verſchiedene Puncte der Erde zu umfaſſenden, während der Jahre 1840, 1841, 1842 anzuſtellenden magnetiſchen Beobachtungen ausgeſendet hat, und eine bedeutende Anzahl europäiſcher Gelehrten die übrigen den engliſchen Beobachtern vorgezeichneten Termine einhält, ſo wird die Kenntniß der Geſetze des Erdmagnetiſmus bald bedeutend vervollkommt werden.

Die Gleichzeitigkeit magnetiſcher Störungen mit Nordlichtern, Erdbeben ꝛc. läßt auf den Zuſammenhang dieſer Erſcheinungen ſchließen. Sehr beachtenswerth iſt die von Kreil gemachte Wahrnehmung, daß bedeutende Störungen an denſelben Jahrestagen wiederkehren.

56. Der Inbegriff der Beſtimmungsſtücke der Richtung und Größe der erdmagnetiſchen Kraft an allen Puncten der Erdfläche in irgend einem Zeitpuncte charakteriſirt den magnetiſchen Zuſtand unſeres Erdkörpers in dieſem Zeitpuncte. Wenn es ſich darum handelt, ein vollkommen richtiges Bild des genannten Zuſtandes zu geben, müſſen die erwähnten Beſtimmungsſtücke von den an ihnen in Folge der periodiſchen Variationen und der Störungen haftenden Anomalien befreit, d. h. ſie müſſen auf ihre mittleren Werthe reducirt ſeyn. Man iſt gewohnt, um der Darſtellung der magnetiſchen Kraftäußerung der Erde eine faßliche Form zu verleihen, jedes Beſtimmungsſtück der magnetiſchen Kraft abgeſondert zu betrachten und dabei ſo vorzugehen, daß man auf einer Abbildung (Karte) entweder der ganzen Erdfläche, oder eines Theiles derſelben ein Syſtem krummer Linien verzeichnet, für deren jede einzelne in allen ihren Puncten dieſes Beſtimmungsſtück conſtant iſt, d. h. durchgehends denſelben Werth hat, während dieſer Werth bei dem Uebergange von einer Curve zur nächſten ſich ſtufenweiſe ändert. Eine Linie auf der Erdfläche, in deren Puncten einerlei Declination Statt findet, heißt eine iſogoniſche; eine Linie

gleicher Inclination wird eine iſocliniſche, eine Linie gleicher Intenſität der erdmagnetiſchen Kraft eine iſodynamiſche genannt. Für die Declination beſitzt man ſeit längerer Zeit Karten, auf welchen die iſogoniſchen Linien, ſo gut es nach den vorhandenen Daten der Beobachtung möglich war, verzeichnet ſind. Die erſte ſolche Karte gab Halley für das Jahr 1700. Die Vergleichung derſelben mit den in der Folge von Hanſteen für 1800 und Barlow für 1830 gegebenen, läßt den bedeutenden Einfluß der ſeculären Aenderung des Erdmagnetismus auf die Anordnung der iſogoniſchen Linien deutlich erkennen. Um die Conſtruction der Inclinationskarten haben ſich vornehmlich Hanſteen und Horner verdient gemacht. Eine Intenſitätskarte wurde von Sabine conſtruirt. Die Beobachtungen laſſen ſchließen, daß es auf der Erdfläche einzelne Puncte gebe, in welchen die Inclination 90° beträgt, d. i. die horizontale Intenſität verſchwindet, mithin die Axe eines in ſeinem Schwerpuncte aufgehängten Magnetes vertical ſteht. Man nennt ſolche Puncte magnetiſche Erdpole. Die Linie, welche die Orte, wo die Neigung = 0 iſt, verbindet, heißt der magnetiſche Erdäquator.

57. Da die bloße empiriſche Zuſammenſtellung der Daten der Beobachtung nicht genügen kann, ſo ſuchte man den magnetiſchen Zuſtand der Erde auf einen allgemeinen Ausdruck, und mit deſſen Hülfe auf Formeln zurückzuführen, welche, nachdem man gewiſſen Beſtimmungsſtücken derſelben ihre Werthe angewieſen hat, die Richtung und Größe der erdmagnetiſchen Kraft für jeden Ort mit hinreichender Näherung darbieten. Zu dieſem Zwecke bemühte man ſich, eine fingirte Vertheilung des Magnetismus im Innern der Erde zu erſinnen, die der wirklich vorhandenen dem Effecte nach äquivalent wäre. So ſuchte T. Mayer den magnetiſchen Zuſtand der Erde durch die Annahme eines, Hanſteen durch die Annahme zweier ſehr kleinen Magnete im Innern der Erde darzuſtellen, anderer ähnlichen Verſuche nicht zu gedenken. Allen dieſen Beſtrebungen hat die neueſtens von Gauß entwickelte Theorie des Erdmagnetismus (Reſultate d. magn. Ver. für 1838. S. 1) ein Ende gemacht. Es laſſen ſich nämlich aus der bloßen Annahme der Scheidung der magnetiſchen Flüſſigkeiten in den Theilchen der Erde Geſetze ableiten, welchen die wie immer gewählten Beſtimmungsſtücke der erdmagnetiſchen Kraft für jeden Ort der Erdfläche (im Allgemeinen für jeden Punct des äußeren Raumes) Genüge leiſten müſſen. Dieſe Geſetze führen auf Reihen für die Componenten der erdmagnetiſchen Kraft, die nach trigonometriſchen Functionen der geographiſchen Länge und Breite fortſchreiten, und die Reſultate um ſo genauer geben, je mehrere ihrer Glieder man in Rechnung zieht. Durch eben ſo viele Daten der Beobachtung, als verſchiedene conſtante Größen auf die numeriſchen Werthe der Coefficienten der Glieder Einfluß haben, werden dieſe Coefficienten beſtimmt, und darnach laſſen ſich die Werthe der Componenten der erdmagnetiſchen Kraft an jedem Orte der Erdfläche berechnen. Nimmt man noch mehrere Daten zu Hilfe, ſo laſſen ſich die plauſibelſten Werthe der Coefficienten nach eigenen

Rechnungsmethoden (I. 5. Anm.) finden. Gauß hat dieß nach zuverläßigen Daten wirklich geleiſtet, und zugleich die Conſtruction von Karten veranlaßt, welche den magnetiſchen Zuſtand der Erde, wie er dem Jahre 1830 entſpricht, mit großer Annäherung an die Wahrheit vor Augen legen (Atlas des Erdmagnetismus; von C. Fr. Gauß und W. Weber. Leipzig, 1840). Folgendes enthält die wichtigſten Reſultate dieſer Unterſuchungen: Es gibt auf der Erde nur zwei magnetiſche Pole oder Puncte, wo die horizontale Intenſität gleich Null iſt. Der eine liegt im Norden von Amerika, der andere im Süden von Van-Diemensland. Die gerade Linie, welche dieſe Puncte mit einander verbindet, iſt ganz ohne Bedeutung, und es wäre unpaſſend, dieſelbe mit dem Namen magnetiſche Axe zu belegen. Auf dieſe Benennung kann bloß eine Gerade Anſpruch machen, hinſichtlich welcher das magnetiſche Moment der Erde ein Maximum iſt. Eine ſolche Gerade iſt aber keine fixe, ſondern jede einer gewiſſen Richtung parallele Linie (24). Die Verbindungslinie der magnetiſchen Erdpole weicht von dieſer Richtung etwas ab. Gauß findet das magnetiſche Moment der Erde 8464 trillionenmal größer, als das Moment eines einpfündigen, bei ſeinen Verſuchen gebrauchten Magnetſtabes, woraus er den Schluß zieht, daß 8464 Trillionen ſolcher Stäbe mit parallelen magnetiſchen Axen erforderlich wären, um die magnetiſche Wirkung der Erde im äußeren Raume zu erſetzen, was bei einer gleichförmigen Vertheilung durch den ganzen körperlichen Raum der Erde beinahe acht Stäbe (genauer 7,831) auf jeden Kubikmeter beträgt, ſo daß durchſchnittlich jedem Achtel eines Kubikmeter der Erde eine eben ſo ſtarke Magnetiſirung zukommt, als die jenes einpfündigen Magnetſtabes. Mit den magnetiſchen Polen der Erde ſind die Puncte, wo die Wirkung des Erdmagnetismus einen Maximum-Werth hat, daher größer iſt, als in jedem Puncte der Umgebung, nicht zu verwechſeln. Puncte der letztern Art gibt es auf der Erdfläche drei, deren einer in die Nachbarſchaft des nördlichen magnetiſchen Poles in Nordamerika, der zweite in die Gegend von Sibirien, wo Hanſteen einen zweiten Pol vermuthete, der dritte ſüdlich von Van-Diemensland in die Nähe des ſüdlichen Erdpoles fällt. Die Werthe der Intenſität des Magnetismus in dieſen drei Puncten ſind 6,1614; 5,9113; 7,8982. Außer dieſen gibt es zwei Puncte der kleinſten magnetiſchen Intenſität. Sie liegen in der Nähe des Aequators, der eine nordöſtlich von Neuholland, der andere in der Nähe von St. Helena, und es entſprechen denſelben die Intenſitäten 3,2481 und 2,8281; dieſe iſt alſo die kleinſte Intenſität, welche auf der Erde vorkommt. Denkt man ſich eine der magnetiſchen Wirkung der Erde äquivalente Vertheilung von Magnetismus auf ihrer Oberfläche, ſo wird der Magnetismus an drei Stellen, nahe bei jenen, wo die Intenſität einen Maximumwerth beſitzt, am meiſten angehäuft ſeyn. Linien ohne Abweichung (in deren Puncten die Magnetnadel die Lage der Mittagslinie hat) gibt es auf der Erdfläche zwei; eine größere, die durch die magnetiſchen Erdpole geht, und die Erde einem Meridian ähnlich umzieht. Sie durchſchneidet den

öſtlichen Theil von Nord- und Südamerika, dann Neuholland, Arabien, Perſien, Rußland; eine kleinere Linie ohne Abweichung bildet ein Oval und läuft durch Oſtſibirien, China und das angrenzende Meer. Die größere Linie ohne Abweichung zerfällt in vier Partien, in den Puncten zweier Partien zeigt der Nordpol der Magnetnadel nach Norden, und in den Puncten der beiden andern findet das Umgekehrte Statt. In der kleineren Linie ohne Abweichung zeigt der Nordpol der Magnetnadel überall nach Norden. Diesſeits und jenſeits einer Linie ohne Abweichung hat die Declination das entgegengeſetzte Zeichen. In zwei getrennten Theilen der Erdfläche iſt die Declination weſtlich; der größere Theil wird von der erſten, der kleinere von der zweiten der ſo eben beſchriebenen Linien ohne Abweichung umgrenzt. Zwiſchen beiden Linien liegt der Theil der Erdfläche, dem eine öſtliche Declination der Magnetnadel entſpricht. Die Linie verſchwindender Inclination (der magnetiſche Aequator) ſcheidet die Erdfläche in zwei Theile, in deren einem der Nordpol, im andern der Südpol der Nadel ſich abwärts ſenkt. Der magnetiſche Aequator durchkreuzt den aſtronomiſchen Aequator der Erde in zwei einander faſt diametral gegenüber liegenden Puncten; allein er weicht bedeutend von der Kreisform ab.

Außer den Linien gleicher Declination, Inclination und Intenſität können noch andere Curven auf der Erdfläche, und in gewiſſer Hinſicht der Theorie des Erdmagnetismus mehr zuſagende betrachtet werden, nämlich die Linien gleicher verticaler Intenſität, dann die Linien der nördlichen und weſtlichen Componente der horizontalen Intenſität, endlich die Gleichgewichtslinien, d. h. jene Curven, welche die Richtung der Magnetnadel überall ſenkrecht durchſchneiden. In Betreff dieſer Curven, ſo wie auch wegen des näheren Details der oben angeführten Ergebniſſe der Theorie müſſen wir auf den bereits erwähnten Gaußſchen Atlas des Erdmagnetismus verweiſen.

Zweiter Abſchnitt.

E l e k t r i c i t ä t.

58. Die in dem vorhergehenden Abſchnitte betrachteten magnetiſchen Erſcheinungen haben uns eine eigenthümliche Wirkungsweiſe einiger Körper kennen gelehrt, deren Urſache wir zwar nicht mit völliger Evidenz darzulegen vermochten, die wir aber deſſenungeachtet auf ein klares Schema zurückführen konnten, was uns in den Stand ſetzte, das Geſetz, welches alle dieſe Erſcheinungen regiert, unter einer höchſt einfachen, dem Ausdrucke anderer bekannten Naturgeſetze analogen Form auszuſprechen. In der Körperwelt iſt aber noch ein anderes Agens thätig, das uns bei ſo verſchiedenartigen Ereigniſſen und unter ſo mannigfaltigen Geſtalten entgegen tritt, daß es der feinſten Unterſuchungen bedurfte, um in den, dem Anſcheine nach ganz heterogenen Wirkungen die Identität der Urſache zu erkennen. Dieſes Agens, welches den Namen E l e k t r i c i t ä t führt, ſteht mit dem Principe der magnetiſchen Erſcheinungen in einer nahen Beziehung; ſeine Wirkſamkeit reicht aber viel weiter, denn es kann durch R e i b u n g, D r u c k, T r e n n u n g d e r K ö r p e r t h e i l e, F o r m ä n d e r u n g, durch bloße B e r ü h r u n g heterogener Körper, durch T e m p e r a t u r ä n d e r u n g, durch c h e m i ſ c h e Actionen, durch Einfluß des M a g n e t i s m u s, der L e b e n s k r a f t, und vielleicht noch durch andere die kleinſten Körpertheile in Anſpruch nehmende Vorgänge, z. B. Licht, Schall u. dgl. rege gemacht werden. Da uns das eigentliche Weſen der Elektricität unbekannt iſt, ſo können wir uns in dem Labyrinthe der Erſcheinungen, die wir ihr mit Grund zuſchreiben, nur durch eine hypothetiſche Vorſtellungsweiſe zurechtfinden, indem wir, wie in der Lehre vom Magnetismus, die Exiſtenz beſonderer Stoffe poſtuliren. Nur fordert es die Mannigfaltigkeit der Phänomene zweierlei Wirkungsarten des elektriſchen Princips zu unterſcheiden, nämlich die Phänomene des G l e i c h g e w i c h t e s oder die e l e k t r o ſ t a t i ſ c h e n und die der B e w e g u n g, oder die e l e k t r o d y n a m i ſ c h e n. Der Zuſtand des elektriſchen Prinzipes, welcher die erſteren bedingt, wird durch das Wort S p a n n u n g bezeichnet; der Zuſtand der Elektricität in Bewegung heißt e l e k t r i ſ c h e r S t r o m. Es iſt nöthig, ſogleich bei den erſten Schritten in der Elektricitätslehre auf dieſen wichtigen Unterſchied zu achten; die nähere Erklärung beider Arten von Erſcheinungen kann aber, ohne der Deutlichkeit des Vortrages Abbruch zu thun, nur allmälig bei

Gelegenheit der Entwicklung der Geſetze der Elektricität gegeben werden. Dieß geſchieht im Folgenden, wo die einzelnen Lehren nach ihrem gegenwärtigen Zuſtande in einer aus der Natur des Gegenſtandes ſelbſt hervorgehenden Ordnung aus einander geſetzt werden.

Erſtes Kapitel.

Erſcheinungen der elektriſchen Spannung überhaupt.

A. Arten der Elektricität und Kennzeichen derſelben.

59. Wenn man eine Glas- oder Siegellackſtange mit einem wollenen Lappen reibt, ſo erlangt ſie dadurch die Fähigkeit, leichte Körper, als: feine Papierſtreifchen, eine kleine Kork- oder Hollundermarkkugel u. dgl. ſchon von einiger Entfernung her anzuziehen, und dieſe Körper, nachdem ſie mit ihr in Berührung gekommen ſind, abzuſtoßen. Nähert man die geriebene Stange einigen auf dem Tiſche liegenden Papierſchnitzchen, ſo werden dieſe angezogen, hierauf abgeſtoßen, aber ſobald ſie den Tiſch berührt haben, wieder angezogen, wodurch ein mehrmaliges Hin- und Herhüpfen derſelben entſteht; ein an einem Seidenfaden hängendes Hollundermarkkügelchen wird angezogen, dann abgeſtoßen und ſcheint fortwährend die ihm dargebotene geriebene Stange zu fliehen: nur nach längerer Zeit, oder nach Berührung des Kügelchens mit dem Finger beginnt die Anziehung von Neuem. Iſt die Stange hinreichend maſſiv, ſo zeigt ſich bei kräftiger Reibung im Finſtern ein Lichtſchein, und man ſieht, wenn man an der Stange mit dem Finger herabfährt, hell leuchtende Funken kniſternd hervorbrechen: nach längerem Reiben entwickelt ſich ein eigenthümlicher, dem des brennenden Phosphors ähnlicher Geruch; die dem Geſichte genäherte Stange verurſacht durch ihre Einwirkung auf die feinen Härchen an der Haut eine Empfindung, als wäre man in ein Spinngewebe gerathen. Erſcheinungen dieſer Art, insbeſondere die der Anziehung leichter Körper, hat man zuerſt am geriebenen Bernſteine (electrum) bemerkt; man nannte ſie daher elektriſche Erſcheinungen, welche Benennung aber ſeitdem einen viel größeren Umfang erhalten hat, denn die Reibung iſt nur eine ſpecielle Art der Elektricitätserregung, indeſſen vorzüglich geeignet, Erſcheinungen der elektriſchen Spannung in einem geſteigerten, zum Studium derſelben beſonders dienlichen Maße hervorzurufen, weßwegen damit der Anfang gemacht wird.

Die Anziehung einer geriebenen Glas- oder Holzſtange gegen leichte Körper hat einige Aehnlichkeit mit der Einwirkung eines Magnetes auf Eiſenfeile; doch unterſcheidet ſich die elektriſche Action von der magnetiſchen ſchon dadurch, daß bei erſterer die Anziehung nach der gegenſeitigen Berührung der betreffenden Körper ſich in Abſtoßung verwandelt, was bei letzterer nicht vorkommt.

60. Bringt man eine geriebene Glas- oder Siegellackſtange mit einem auf Glas oder Harz ruhenden oder an Seide hängenden abge-

rundeten, glatten Metallkörper, indem man die Stange an dem Metalle vorüber führt, ihrer Länge nach in Berührung, ſo findet man den Metallkörper nicht bloß an der Berührungsſtelle, ſondern an jedem Orte ſeiner Oberfläche elektriſch. Es iſt ihm alſo Elektricität mitgetheilt worden. Berührt man dieſen Metallkörper hierauf mit dem Finger oder mit einem Stücke Metall, das man in der Hand hält, wenn auch nur an einer einzigen Stelle, ſo wird ihm die mitgetheilte Elektricität augenblicklich und überall entzogen. Der durch Mittheilung elektriſirte Metallkörper verliert aber ſeine Elektricität nicht, wenn man ihn mit einer nicht elektriſchen Glas- oder Harzſtange, oder mit Seide berührt. Eine nicht elektriſche Glas- oder Harzſtange dagegen wird durch Berührung mit einem elektriſchen Körper nur an der Berührungsſtelle und kaum über dieſelbe hinaus elektriſch; hat man aber ein Stück Glas oder Harz durch vielfaches Berühren mit einem elektriſchen Körper allenthalben elektriſch gemacht, und man berührt es hierauf an einer Stelle mit der Hand, ſo verliert es nur an der berührten Stelle ſeine Elektricität. Hieraus ſieht man, daß Glas, Harz, Seide, dem elektriſchen Zuſtande eines Körpers, womit dieſe Stoffe in Contact kommen, keinen oder einen nur unmerklichen Abbruch thun, indem ſie nur ſchwer die dargebotene Elektricität annehmen, während ein Metallſtück die Elektricität leicht und überall annimmt, daß aber dagegen ein elektriſches Metall ſeine Elektricität ſehr leicht an Körper abgibt, welche eine Neigung haben, dieſelbe aufzunehmen, während Glas, Harz, Seide ihre Elektricität hartnäckig feſthalten. Man nennt deßhalb Körper, welche gegen Elektricität ſich wie die Metalle verhalten, gute Leiter; Glas, Harz, Seide und die ihnen in erwähnter Beziehung ähnlichen Körper heißen ſchlechte Leiter. Indeſſen laſſen ſich nicht alle vorhandenen Körper in dieſe zwei Claſſen bringen; denn der Uebergang von einer in die andere geſchieht nur ſtufenweiſe, ſo daß einige Körper nicht zu den ſchlechten und nicht zu den guten Leitern gezählt werden können. Dieſe heißt man Halbleiter. Zu den guten Leitern gehören, nebſt den Metallen, gut gebrannte Kohle, Erze, lebende Vegetabilien und Thiere, feuchte Erde, die meiſten Salze, viele Flüſſigkeiten, Dünſte und Säuren, wohl auch Hollundermark ꝛc. Schlechte Leiter ſind, nebſt den oben genannten, Schwefel, Haare und Federn, alle durchſichtigen Edelſteine, trockene Metalloxyde, trockene atmoſphäriſche Luft bei gewöhnlicher Temperatur, wie auch andere Gaſe, durch Druck tropfbar gemachtes Cyan und Chlor. (Zeitſchr. 10. 124.) Zu den Halbleitern gehören: Alabaſter, Marmor, die meiſten Erden und Steine. Die Fähigkeit, die Electricität zu leiten, hängt von verſchiedenen Umſtänden ab. Soll ein Elektricitätsleiter die ihm beigebrachte Elektricität behalten, ſo muß er iſolirt, d. h. bloß mit Nichtleitern umgeben werden. Iſolirende, d. h. ſchlecht leitende Körper heißen oft auch Iſolatoren.

Hiernach erklärt es ſich, warum ein ohne weitere Vorkehrung in der Hand gehaltenes Metall durch Reiben nicht in den elektriſchen Zuſtand verſetzt wird, während dieſes gelingt, wenn man das Metall an einem

iſolirenden Handgriffe hält und ſich hüthet, es mit der Hand, die das Reibzeug führt, unmittelbar zu berühren. Eine Eintheilung der Körper in ſolche, die durch Reiben elektriſch werden, und in ſolche, die es nicht werden, etwa wie man die Körper in magnetiſche und nicht magnetiſche zu theilen gewohnt iſt, wäre daher unrichtig.

61. Die durch Reiben des Glaſes mit einem Tuchlappen erzeugte Elektricität iſt von der durch gleiche Behandlung des Harzes erregten weſentlich verſchieden. Bringt man nämlich einem Hollundermarkkügelchen, das durch den Seidenfaden, woran es hängt, iſolirt iſt, von einer geriebenen Glasſtange Elektricität bei, ſo wird es von dieſer, wie auch von jeder andern geriebenen Glasſtange abgeſtoßen, dagegen, ohne noch ſeine Elektricität eingebüßt zu haben, von einer geriebenen Siegellackſtange angezogen. Eben ſo wird das Kügelchen, wenn es von der Siegellackſtange durch Berührung Elektricität empfangen hat, von jeder geriebenen Harzſtange abgeſtoßen, von einer geriebenen Glasſtange aber angezogen. Man kann den Verſuch unmittelbar mit den Stangen ſelbſt machen: eine aufgehängte und geriebene Glasſtange wird von einer andern geriebenen Glasſtange abgeſtoßen, von einer elektriſch gemachten Harzſtange hingegen angezogen, und eben ſo wird die bewegliche elektriſche Harzſtange von einer Harzſtange abgeſtoßen, von einer Glasſtange angezogen. Theilt man zwei iſolirten Korkkügelchen von derſelben Quelle Elektricität mit, ſo ſtoßen ſie einander ab; gibt man aber dem einen Kügelchen Elektricität der Glasſtange, dem andern Elektricität der Harzſtange, ſo ziehen ſie ſich an. Hat man in dem letztern Falle bei der Mittheilung der verſchiedenen Elektricitäten das rechte Maß getroffen, ſo zeigen ſich die Kügelchen, nachdem ſie mit einander in Berührung gekommen ſind, ganz ohne Elektricität. Hat man die Elektricitäten nicht im rechten Maße angewendet, ſo erſcheinen beide Kügelchen, nachdem ſie ſich berührt haben, mit der im Ueberſchuſſe vorhandenen Elektricität. Aus dieſem Verſuche, und noch leichter aus denen, welche ſich mit den im Nächſtfolgenden zu erklärenden Apparaten anſtellen laſſen, ergibt ſich die wichtige Folgerung, daß ſich die durch Reiben des Glaſes erregte Elektricität und die durch Reiben des Harzes erzeugte gegenſeitig ganz oder zum Theil aufheben wie entgegengeſetzte Größen. Man nannte vormals die eine dieſer Elektricitäten die Glaselektricität, die andere Harzelektricität; dieſe Benennungen ſind jedoch unpaſſend, weil die betreffenden Elektricitäten nicht allein im Glas und Harz, ſondern in jedem andern Körper erzeugt werden, ja ſowohl die eine als die andere nach Verſchiedenheit der Behandlung im Glas oder Harz erregt werden kann. Es gibt nur dieſe zwei Elektricitäten und keine dritte; denn man findet keinen elektriſchen Körper, der ſowohl auf einen mit der Glaselektricität, wie auch auf einen mit der Harzelektricität verſehenen Körper anziehend oder auf beide abſtoßend wirkte, oder deſſen Elektricität nicht durch ein ſchickliches Maß der einen oder der andern aufgehoben werden könnte. Die zweckmäßigſte Benennung der beiden Elektricitäten iſt wohl die jetzt allgemein angenommene; ſie gründet ſich auf den Um-

ſtand daß dieſe Elektricitäten ſich wie entgegengeſetzte Größen in der Mathematik verhalten; dem zu Folge nennt man die eine Elektricität die poſitive (+E), die andere die negative (—E). Es iſt zwar gleichgültig, welche dieſen oder jenen Namen bekommt, aber gewöhnlich nennt man die durch Reiben des polirten Glaſes mit Leder oder Tuch erzeugte die poſitive, mithin die andere die negative. Aus obigem Verhalten der auf gleiche oder auf verſchiedene Weiſe elektriſirten Körper folgt das Fundamentalgeſetz, daß gleichnamig elektriſirte Körper ſich abſtoßen, ungleichnamig elektriſirte ſich anziehen.

Wenn hier von zwei entgegengeſetzten Elektricitäten wie von zwei wirklich exiſtirenden Dingen geredet wird, ſo geſchieht es, ohne ſich in eine Hypotheſe über das Weſen dieſer Elektricitäten einzulaſſen. Die Exiſtenz zweier verſchiedenen elektriſchen Zuſtände iſt ein wohl begründetes Factum; nicht minder gewiß iſt es, daß jedem dieſer Zuſtände eine beſondere nächſte Urſache zum Grunde liegt. Durch das Wort »Elektricität« mit dem Beiſatze: »poſitive« oder »negative«, wird vor der Hand nichts weiter als dieſe nächſte Urſache des einen oder des anderen Zuſtandes bezeichnet.

62. Ein Hollundermarkkügelchen, an einem Seidenfaden hängend, kann, wie aus dem Vorhergehenden erhellet, nicht nur dazu dienen, das Vorhandenſeyn des elektriſchen Zuſtandes an einem Körper wahrzunehmen, ſondern auch über die Art der Elektricität zu entſcheiden. Wird nämlich das Kügelchen in ſeinem natürlichen Zuſtande von einem Körper angezogen, ſo iſt dieſer elektriſch; wird das Kügelchen nachdem es von dem Körper Elektricität erhalten hat, von einer mit Leder oder Tuch geriebenen Glasſtange abgeſtoßen, oder von einer mit Tuch oder Pelzwerk geriebenen Siegellackſtange angezogen, ſo iſt die Elektricität des Körpers die poſitive; wirken aber die beiden Stangen auf eine der vorgenannten entgegengeſetzte Weiſe, ſo hat der zu unterſuchende Körper die negative Elektricität. Ein ſolches Hollundermarkkügelchen iſt demnach ein wahres Elektroſkop. Indeſſen läßt ſich mit dieſem, dem ſogenannten Kugelelektroſkope, die Anweſenheit und die Art der Elektricität nur da nachweiſen, wo ſie eine hinreichende Kraft hat, um die Maſſe des Kügelchens in eine merkliche Bewegung zu verſetzen; für ſchwache Elektricitätsgrade bedarf man jedoch eines empfindlicheren Inſtrumentes. Sehr zweckmäßig und zu feinen Verſuchen anwendbar iſt das Bennet'ſche oder Goldblattelektroſkop (Fig. 215.) Von dem Ende eines Kupfer oder Meſſingdrahtes hängen zwei gleich lange ſchmale Goldblättchen herab, die einander der ganzen Länge nach an der breiteren Fläche berühren. Zur Verminderung des ſtörenden Einfluſſes des Luftzuges ſind die Blättchen in ein Gefäß von Glas eingeſchloſſen, durch deſſen obere Mündung der Draht geht. Am anderen Ende, außerhalb des Gefäßes trägt der Draht eine metallene Kugel oder auch eine Platte. Die Kugel, oder nach der gewöhnlicheren Einrichtung, die Platte, dient dazu, den Goldblättchen die zu unterſuchende Elektricität zuzuführen. Sie heißt deßhalb die Zuleitungs- oder Collectorplatte. So-

bald dieß geſchieht, weichen die Goldblättchen in Folge der unter denſelben eintretenden Abſtoßung aus einander und bilden, nach Maßgabe der Stärke (Spannung) der ihnen beigebrachten Elektricität, einen größeren oder kleineren Winkel, den man mittelſt eines Gradbogens meſſen kann. Es iſt unerläßlich, daß die zuleitende Platte oder Kugel, wie auch der Draht eine vollkommen glatte (polirte) Oberfläche haben, weil an rauhen, oder mit Spitzen verſehenen Stellen eines Leiters die Elektricität ſehr leicht entweicht, was einen ordentlichen Verſuch unmöglich machen würde. Trägt man Sorgfalt, die Luft in dem wohlverſchloſſenen Gefäße durch etwas Chlorcalcium in vollkommener Trockenheit zu erhalten, und iſt die äußere Luft nicht zu feucht, ſo bleiben die Goldblättchen hinreichend lange in derſelben Divergenz ſtehen. Man pflegt dem Gefäße einen metallenen Boden zu geben, von dem einander gegenüber zwei Metallplatten, oder auch nur zwei an das Glas geklebte Staniolſtreifen in die Höhe gehen, woran bei zu großer Divergenz die Goldblättchen anſchlagen und ihre Elektricität abſetzen können; auch befördert die Anziehung zwiſchen den Goldblättchen und Metallſtreifen die Divergenz der erſteren, wodurch das Inſtrument an Empfindlichkeit gewinnt. Man kann auch, wo es nicht auf die äußerſte Empfindlichkeit ankommt, ſtatt der Goldblättchen, wie Volta gethan hat, dünne Stroh- oder Grashalme anwenden, und erhält dadurch ein minder verletzbares, zur Demonſtration der Eigenſchaften der Elektricität bei Vorträgen ſehr brauchbares Inſtrument.

63. Die eigentlichen Vorzüge des ſo eben beſchriebenen Elektroſkopes können an dem gegenwärtigen Orte nicht einmal geltend gemacht werden, da ſie erſt in dem Gebrauche des Inſtrumentes hervortreten, der auf ſpäter vorzutragenden Lehrſätzen beruht. Deſſen ungeachtet iſt aber dieſes Elektroſkop doch nur mehr zu qualitativen Indicationen, wo es vor allem auf Empfindlichkeit ankommt, als zu quantitativen Beſtimmungen geeignet. Denn wenn gleich dasſelbe ein Mehr oder Weniger an elektriſcher Kraft leicht zu erkennen gibt, ſo erfordert ſeine Anwendung zum wirklichen Meſſen dieſer Kraft ganz beſondere theoretiſche Hilfsmittel, ſo daß dem practiſchen Phyſiker ein Inſtrument, welches dieſem Zwecke ohne künſtliche Rechnung direct genügt, ſehr willkommen ſeyn muß. Die Coulomb'ſche Drehwage ſo gebraucht, wie es ſchon ihr Erfinder, und in neueſter Zeit Faraday muſterhaft gethan hat, genügt allen Anforderungen. Es unterſcheidet ſich die elektriſche Wage von der im vorhergehenden Abſchnitte (29) beſchriebenen magnetiſchen darin, daß ſich an der Stelle des an einem feinen elaſtiſchen Faden (am beſten von Glas) hängenden Metallſtabes ein leichter Hebel aus Schellack befindet, der an einem Ende eine vergoldete Kugel oder ein Scheibchen aus Goldpapier, am anderen aber eine zur Aequilibrirung des Stäbchens paſſende Maſſe trägt, der man die Geſtalt einer Windfahne geben kann, um eine raſche Einſtellung des Hebels auf eine fixe Lage zu befördern. Im natürlichen Zuſtande ruht der Schellackhebel in der Verticalebene, wo ſich der Nullpunct der Eintheilung des Glaskaſtens befindet, und das

Papierſcheibchen oder die leitende Kugel berührt eine andere auch leitende Kugel, die von außen und oben in den Kaſten geſchoben und wieder heraus genommen werden, und mittelſt welcher man dem Hebel Elektricität mittheilen kann. Sowohl oberhalb als unterhalb der Theilung des Glaskaſtens befindet ſich rings um den Kaſten ein Streifen von Zinnfolie, beide Streifen ſind ſowohl unter ſich als mit der Erde leitend verbunden, und innerhalb des Kaſtens iſt auf einem Glastiſchchen Chlorcalcium oder geſchmolzene Pottaſche angebracht, welcher Stoff mit einem Drahtnetze umgeben iſt, und die Beſtimmung hat, die Luft trocken zu erhalten, und darum auch nur gebraucht wird, wenn dieſe Trockenheit beabſichtiget iſt. Um mit der Drehwage die Größe der elektriſchen Abſtoßung zu meſſen, theilt man der Kugel der Wage und dadurch der ſie berührenden Scheibe des Hebels Elektricität mit, worauf dieſe ſich abſtoßen. Hierauf führt man den Hebel auf eine beſtimmte Stellung zurück, indem man dem Drahte durch Drehung von oben eine Windung nach einer der Abſtoßung entgegengeſetzten Richtung ertheilt. Will man nun zwei Abſtoßungen mit einander bei gleicher Entfernung des Hebels von ſeiner natürlichen Lage vergleichen; ſo darf man nur die Torſion des Drahtes, welche nöthig iſt, um dem Hebel in beiden Fällen einerlei Stellung zu geben, durch die Größe des Abſtoßungswinkels vermehren: die ſo erhaltenen Zahlen verhalten ſich wie die Repulſionen. Hat man z. B. dem Drahte in einem Falle eine Windung von 70°, im anderen eine Windung von 185° ertheilen müſſen, um eine Ablenkung von 10° zu erhalten; ſo verhalten ſich die Repulſionen wie $70 + 10 : 185 + 10 = 80 : 195$. Auf ähnliche Weiſe verfährt man beim Meſſen der elektriſchen Anziehung. Zum Uebertragen der Elektricität von einer Stelle eines Körpers in den Hebel oder in die ihm gegenüberſtehende Kugel, dient am beſten ein Scheibchen aus Goldpapier mit einem Stiele aus Schellack, an dem man es hält. Dieſes heißt darum auch die Probeſcheibe.

64. Mittelſt der Drehwage läßt ſich ein ſeinen Folgen nach äußerſt wichtiges Geſetz beweiſen, daß nämlich die Kräfte, welche zwei in elektriſchem Zuſtande befindliche kugelförmige Körper in verſchiedenen Diſtanzen ihrer Mittelpuncte auf einander ausüben, ſich verkehrt verhalten, wie die Quadrate dieſer Diſtanzen. Zur Rechtfertigung dieſes Geſetzes hat Coulomb folgenden Verſuch angeſtellt: Er drehte den Hebel mittelſt des Drahtes ſo, daß die Kugel des Hebels die ihm gegenüberſtehende ohne Windung des Drahtes berührte, theilte hierauf beiden Kugeln eine geringe Elektricität (mittelſt des Kopfes einer iſolirten Stecknadel) mit, durch welche die Kugel am Hebel um einen Winkel von 36° abgeſtoßen wurde. Drehte er nun abermals den Draht um 126° gegen die Ordnung der Zahlen am Kreiſe des Gehäuſes, ſo fand er, daß die Kugel nur mehr um 18° von ihrer natürlichen Stellung abſtand. Es verhielt ſich daher die Stärke der elektriſchen Kraft in beiden Abſtänden wie $36 : 126 + 18 = 36 : 144 = 1 : 4$, die Abſtände waren aber im Verhältniſſe 2 : 1. Auf ähnliche Art verfuhr er, um das Geſetz der Anziehung zu finden, welches zwiſchen

Kugeln, deren elektriſche Zuſtände einander entgegengeſetzt ſind, Statt findet. Betrachtet man, wie es naturgemäß iſt, die Action einer Kugel auf die andere, als das Reſultat der Actionen ihrer kleinſten Theile und nimmt man an, daß die Kräfte, welche von allen Puncten einer im Innern der Kugel mit beliebigem Halbmeſſer concentriſch beſchriebenen Kugelfläche ausgehen, unter ſich gleich ſind, ſo folgt hieraus nothwendig, daß auch die gegenſeitigen Kräfte der kleinſten elektriſchen Körpertheilchen dem Quadrate ihrer Diſtanz verkehrt proportionirt ſind.

65. Die Elektroſkope laſſen ſich dazu gebrauchen, eine genauere Kenntniß von der Art zu erlangen, auf welche die Elektricität an einem Körper haftet. Wird einem iſolirten leitenden Körper Elektricität mitgetheilt, ſo befindet ſich dieſe nur an der Oberfläche deſſelben. Denn deckt man die Oberfläche einer metallenen Kugel mit zwei halbkugelförmigen, mit iſolirten Handgriffen verſehenen Schalen von Metall, und theilt ihr dann Elektricität mit, ſo findet man ſie, nach Wegnahme der Schalen ganz ohne Elektricität, dieſe aber elektriſch, zum Beweiſe, daß die Elektricität in den Schalen, mithin an der Oberfläche ihren Sitz hat. Elektriſirt man eine mit einem Loche verſehene hohle metallene Kugel, ſo zeigt eine in dieſes Loch geſenkte Probeſcheibe, nachdem man ſie ſorgfältig, ohne Berührung der Ränder herausgenommen hat, keine Spur von Elektricität. Nicht leitende Körper werden dagegen bei kräftiger Elektricitätseinwirkung auch in ihrer Maſſe elektriſch, und bleiben hartnäckig in dieſem Zuſtande. Es liegt alſo in der Beſchaffenheit der Elektricität, ſich an die Oberfläche eines Körpers zu begeben, in ſo ferne die materielle Beſchaffenheit des letzteren es geſtattet.

66. Eine Probeſcheibe, die man mit verſchiedenen Stellen der Oberfläche einer iſolirten, und durch Mittheilung elektriſirten Metallkugel in Contact bringt, empfängt von jeder Stelle gleiche elektriſche Kraft; bei einem länglichen Körper aber zeigt ſich dieſe Kraft an verſchiedenen Stellen verſchieden, am ſtärkſten an den Enden. Es hängt alſo die Anordnung der Elektricität an der Oberfläche eines leitenden iſolirten Körpers von der Geſtalt deſſelben ab.

67. Da man bei Verſuchen über die Anordnung der Elektricitäten an einem Körper nur einen Punct nach dem anderen unterſuchen kann; ſo iſt klar, daß man zu unrichtigen Folgerungen verleitet würde, wenn in der Zwiſchenzeit der Körper einen Theil ſeiner Elektricität verloren hätte, und man nicht darauf Rückſicht nähme. Ein ſolcher Verluſt iſt aber unvermeidlich, indem auch der auf das beſte iſolirte Körper theils den iſolirenden Stützen, theils der Luft, beſonders wenn ſie feucht iſt, immer etwas von ſeiner Elektricität mittheilt. Man wird alſo nur dann bei Verſuchen über die Anordnung der Elektricität an einem Körper zu einem richtigen Reſultate gelangen, wenn man im Stande iſt, dieſen Verluſt in Rechnung zu bringen, welches wieder nur der Fall iſt, wenn man das Geſetz, nach welchem er erfolgt, kennt.

68. Um das Geſetz des Elektricitätsverluſtes kennen zu lernen, hat Coulomb den Verluſt durch die unvollkommen iſolirenden Stützen von dem durch die Luft abgeſondert. Er überzeugte ſich zuerſt davon, daß eine Schellackſtange von $^1/_2$ L. Dicke und 18—20 L. Länge eine mäßig elektriſirte Kugel von Hollundermark, deren Durchmeſſer 5—6 Linien beträgt, vollkommen iſolire: denn ihr Elektricitätsverluſt war gleich, ſie mochte durch ein oder durch mehrere ſolche Stängelchen getragen werden. Wurde daher eine Schellackſtange, wie die angegebene, als Hebel einer Wage gebraucht, und die genannte Hollundermarkkugel dem Hebel gegenüber geſetzt; ſo konnte man gewiß ſeyn, daß der Elektricitätsverluſt, den ſie erleidet, bloß auf Rechnung der Luft komme. Coulomb fand, daß dieſer Verluſt in einerlei Zeit und bei einerlei Feuchtigkeitszuſtand der Luft ſtets der Intenſität der Eletricität proportionirt, welche der elektriſche Körper der Probeſcheibe mittheilt, übrigens aber vom Leitungsvermögen des elektriſchen Körpers, und bei einer geringen elektriſchen Spannung, auch von der Geſtalt dieſes Körpers unabhängig ſey. Da man nun den Elektricitätsverluſt einer Kugel kannte, die mittelſt einer Schellackſtange vollkommen iſolirt war, und daher bloß der Luft Elektricität abgeben konnte; ſo brauchte man nur den Verluſt deſſelben Körpers zu beobachten, wenn er von einer Glasſtange getragen oder an einem Seidenfaden aufgehängt war, davon den Verluſt durch die Luft abzuziehen, um den Verluſt durch unvollkommene Iſolirung von Seite der Stützen zu erhalten. Auch hier fand man, daß ſich die Leitungsfähigkeit eines Körpers unter übrigens gleichen Umſtänden nach der Intenſität der Elektricität richte, und ſo wie dieſe Intenſität abnehme. — Man ſieht hieraus, daß für ſehr kleine Grade der Elektricität faſt alle Körper völlige Nichtleiter ſind, ſo daß es gar nichts Ungereimtes wäre, zu behaupten, es befinde ſich in allen Körpern, ungeachtet ihrer leitenden Verbindung unter einander, immer ein gewiſſes Quantum freier Elektricität.

Bei einem von Coulomb angeſtellten Verſuche, wo der Verluſt bloß durch die Luft erfolgte, war die abſtoßende Kraft der Elektricität einer Windung des Drahtes von 270° proportionirt. Nach einer Minute mußte man dieſe Windung um 6° vermindern, um denſelben Abſtoßungswinkel zu erhalten, ſo daß nun die Abſtoßung nur einer Windung von 264° entſprach. Die mittlere Elektricitätsmenge war nun der Größe $\frac{270 + 264}{2} = 267°$ proportionirt, und von dieſer betrug der 6° entſprechende Verluſt $\frac{6}{267} = \frac{1}{44,5}$. Nach Coulomb beträgt bei trockener Luft dieſer Verluſt in 1 M. in der Regel $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{70}$, bei feuchter Luft ſteigt er oft auf $\frac{1}{20}$ der mittleren Spannung.

69. Unterſucht man die an die Probeſcheibe abgeſetzte Intenſität der Elektricität eines Körpers an verſchiedenen Puncten zu verſchiedenen Zeiten, nachdem er entweder durch die Luft oder durch unvollkommene Iſolirung einen Theil ſeiner Elektricität verloren hat; ſo überzeugt man ſich, daß das Verhältniß dieſer Intenſitäten an verſchiedenen Puncten ſtets daſſelbe bleibt, die abſolute Menge der

Elektricität mag wie immer ab- oder zugenommen haben. Dieſe Erfahrung erlaubt die Folgerung, daß durch den Zuwachs einer doppelten oder dreifachen Menge der Elektricität auch jedes Element des elektriſchen Körpers doppelte oder dreifache Elektricität bekomme, und daß ſich größere und kleinere Elektricitätsmengen ſtets nach demſelben Geſetze anordnen und ins Gleichgewicht treten, welchen Begriff man ſich auch ſonſt von dem machen möge, was man Elektricitätsmenge zu nennen hat, deſſen nähere Feſtſetzung erſt in der Folge gegeben werden kann.

B. Erregung elektriſcher Spannung durch Induction.

70. Nähert man der Zuleitungsplatte eines Volta'ſchen oder Bennet'ſchen Elektroſkopes eine ſtark geriebene Glasſtange, ſo divergiren die Strohhalme oder Goldblättchen ſchon, wenn die Stange ſich noch in bedeutender Diſtanz von der Platte befindet, und die Divergenz nimmt mit der Annäherung des elektriſchen Körpers zu. Entfernt man den elektriſchen Körper vom Elektroſkope, ſo fallen die Blättchen ſtufenweiſe zuſammen, und erhalten zuletzt ihre natürliche Stellung wieder. Alles geht ohne einen wahrnehmbaren Unterſchied eben ſo vor ſich, wenn man ſtatt der Glasſtange eine Harzſtange anwendet; allein die nähere Beſchaffenheit der dieſe Vorgänge bedingenden Kräfte iſt dennoch in beiden Fällen eine verſchiedene, und zwar wirken dieſe Kräfte mit einander verglichen, auf entgegengeſetzte Weiſe. Hat man nämlich die Blättchen des Elektroſkopes durch Annäherung einer ſtark geriebenen Glasſtange in Divergenz verſetzt, und man bringt, während die Glasſtange in der Poſition, die ſie zuletzt hatte, unverrückt ſtehen bleibt, eine ſtark geriebene Siegellackſtange heran, ſo vermindert ſich die Divergenz der Blättchen, und dieſe fallen endlich ganz zuſammen; nähert man die Siegellackſtange dem Elektroſkope noch mehr, ſo gehen die Blättchen wieder aus einander. Entfernt man jetzt die Glasſtange, ſo wird die letztere Divergenz der Blättchen dadurch nur noch vergrößert. Hier liegt nun die entgegengeſetzte Natur der von der Glas- und Siegellackſtange ausgehenden Kräfte am Tage, und man ſieht, daß es bei dem gleichzeitigen Wirken beider, bezüglich der Beſchaffenheit des Unterſchiedes ihrer Actionen, nur darauf ankommt, welche dieſer Kräfte das Uebergewicht hat.

71. Der wichtigſte Umſtand bei dieſen Verſuchen beſteht jedoch darin, daß hier eine bloße Wirkung in die Ferne Statt zu finden ſcheint, in ſo fern nämlich das Elektroſkop dabei keine Elektricität von den elektriſchen Körpern empfängt, weil ſonſt die Blättchen nach Entfernung dieſer Körper eine gewiſſe Divergenz behalten müßten. Letzteres erfolgt auch in der That, wenn man einen der genannten Körper mit der Zuleitungsplatte in unmittelbare Berührung bringt, jedoch mit der Vorſicht zur Schonung des zarten Elektroſkopes dazu einen nur ſchwach elektriſchen Körper anzuwenden; da behalten die Blättchen eine bleibende Divergenz. Hat man die Berührung mit einer Glasſtange gemacht, und man nähert dem Elektroſkop eine ſtark ge-

riebene Glasſtange, ſo gehen die Blättchen ſogleich weiter aus einander; nähert man aber dem Elektroſkope eine Harzſtange, ſo wird die Divergenz der urſprünglich durch Glas elektriſirten Blättchen verringert. Nach gänzlicher Entfernung der einen oder der andern Stange zeigen die Blättchen wieder ihre frühere, durch die Mittheilung der Elektricität bewirkte Divergenz. Aus dieſen Verſuchen folgt, daß die Wirkung, welche ein elektriſcher Körper aus der Ferne auf das Elektroſkop ausübt, der Art nach mit jener übereinſtimmt, welche er bei unmittelbarer Berührung mit der Zuleitungsplatte, d. h. bei Mittheilung von Elektricität an ſelbe, hervorbringen würde.

72. Der eigentliche Vorgang bei dieſer Einwirkung eines elektriſchen Körpers aus der Ferne auf das Elektroſkop wird durch folgende Abänderung des Verſuches noch mehr in das Licht geſetzt. Es ſey der elektriſche Körper eine ſtark geriebene Glasſtange, und ſie habe in einer beſtimmten Diſtanz vom Elektroſkope eine gewiſſe Divergenz der Blättchen hervorgerufen. Nach dem Vorhergehenden weiß man, daß dieß in Folge der Aeußerung poſitiver Elektricität geſchieht. Man berühre nun, die Glasſtange ſtets in derſelben Poſition haltend, die Zuleitungsplatte irgendwo mit dem Finger. Sogleich fallen die Blättchen zuſammen; es iſt alſo jedes Anzeichen von Elektricität verſchwunden. Entfernt man, nachdem man den Finger weggezogen hat, die Glasſtange allmälig, ſo gehen die Blättchen aus einander, und bleiben nach gänzlicher Beſeitigung der Glasſtange in einer der früheren gleichen Divergenz ſtehen. Nähert man die Glasſtange wieder, ſo fallen die Blättchen anfänglich zuſammen, aber bei noch weiter fortgeſetzter Annäherung der Glasſtange gehen ſie aus einander; entfernt man jetzt die Glasſtange, ſo gehen die Blättchen gleichfalls zuerſt zuſammen und dann gehen ſie aus einander. Nähert man dem Elektroſkope während die Blättchen die ihnen jetzt bleibend eigene Divergenz haben, eine geriebene Siegellackſtange, ſo wird die Divergenz ſogleich vergrößert. Die gegenwärtige Divergenz der Elektroſkop-Blättchen iſt alſo eine Aeußerung wirklich vorhandener negativer Elektricität. Wiederholt man denſelben Verſuch, nachdem man das Elektroſkop durch Berührung mit dem Finger ſeiner Elektricität beraubt hat, mit einer Siegellackſtange, und berührt, ſobald eine gewiſſe Divergenz der mit negativer Elektricität aus einander gehenden Blättchen eingetreten iſt, die Zuleitungsplatte mit dem Finger, ſo fallen die Blättchen zuſammen; zieht man den Finger weg und entfernt darauf die Harzſtange, ſo gehen ſie mit bleibender Elektricität aus einander, die ſich als poſitive charakteriſirt. Man hat hier offenbar durch die Berührung der Zuleitungsplatte die Elektricität, mit welcher die Blättchen unter dem Einfluſſe des elektriſchen Körpers (der Glas- oder der Harzſtange) anfänglich aus einander gingen, weggeſchafft; hätte man es nicht gethan, ſo wäre nach Entfernung des elektriſchen Körpers der natürliche Zuſtand des Elektroſkopes zurückgekehrt; nunmehr aber tritt derjenige Zuſtand ein, mit dem die weggeſchaffte Elektricität den natürlichen Zuſtand erzeugt hätte; es zeigt ſich alſo der dem früheren entgegenge-

ſetzte elektriſche Zuſtand. Die Richtigkeit dieſer Art das Phänomen zu betrachten tritt noch mehr hervor, wenn man, während die Blättchen des Elektroſkopes unter dem Einfluſſe eines elektriſchen Körpers in Divergenz ſtehen, die Zuleitungsplatte nicht mit dem Finger, ſondern mit einem kleinen, an einem iſolirenden Handgriffe befeſtigten Metallſtücke berührt. Da fallen die Blättchen nicht ganz zuſammen, ſondern ihre Divergenz wird nur vermindert. Entfernt man das Metallſtück und darauf den elektriſchen Körper, ſo fallen die Blättchen anfänglich zuſammen und gehen darauf bleibend aus einander, und zwar zeigt ihre Elektricität alle Symptome des Gegenſatzes mit derjenigen, die der elektriſche Körper hatte. Noch ſchöner macht man den Verſuch, wenn man ein zweites Elektroſkop von gleicher Conſtruction, das man in einiger Diſtanz von dem erſten aufſtellt, und einen Draht mit einem iſolirenden Handgriffe zu Hülfe nimmt, um nach Gefallen beide Collectorplatten mit einander in leitende Verbindung zu ſetzen. Nähert man dem erſten Elektroſkope eine geriebene Glasſtange bis die Blättchen dieſes Elektroſkopes zu gehöriger Divergenz gekommen ſind, und verbindet man ſodann beide Collectorplatten mittelſt des Drahtes, ſo wird die Divergenz in dem erſten Elektroſkope vermindert, und in dem zweiten entſteht dafür eine Divergenz, die jener im erſten Elektroſkope gleich iſt. Unterbricht man jetzt die Verbindung der Elektroſkope und entfernt man ſodann die Glasſtange, ſo fallen die Blättchen in dem erſten Elektroſkope zuſammen und gehen hierauf aus einander, in dem zweiten Elektroſkop bleibt die frühere Divergenz faſt ungeändert; die jetzt beſtehenden Divergenzen in beiden Elektroſkopen erweiſen ſich als Wirkungen entgegengeſetzter Elektricitäten, und zwar herrſcht in dem erſten Elektroſkope + E, im anderen — E, was ſich durch die Probe mit einer Glas- oder Harzſtange auf die oben angedeutete Art leicht zu erkennen gibt.

73. Die hier erklärten Verſuche gelingen eben ſo, wenn man ſtatt der geriebenen Glas- oder Harzſtange einen durch Mittheilung elektriſirten Leiter auf das Elektroſkop einwirken läßt, wobei dieſer Leiter nichts von ſeiner Elektricität einbüßt, was man mit Hülfe eines zweckmäßig angebrachten Elektroſkopes rechtfertigen kann, und auch ſchon daraus ſieht, daß ſich der Leiter zu dem Verſuche, wenn die äußeren Umſtände günſtig ſind, viele Male mit ungeſchwächtem Erfolge gebrauchen läßt. Alles dieſes gibt zu erkennen, daß ein elektriſcher Körper jeden in ſeiner Nähe befindlichen Leiter in einen Zuſtand elektriſcher Spannung verſetzt, ohne ihm Elektricität mitzutheilen. Bleibt der Leiter unberührt, ſo währt dieſe Spannung nur ſo lange, als der elektriſche Körper in der Nähe iſt: ſie verſchwindet gänzlich, wenn der elektriſche Körper entfernt wird. Kommt der Leiter, während er unter dem Einfluſſe des elektriſchen Körpers ſteht, mit der Erde in leitende Verbindung, ſo verliert ſich die elektriſche Spannung gleichfalls, aber nach Entfernung des elektriſchen Körpers tritt abermal eine elektriſche Spannung und zwar entgegengeſetzter Art ein. Dieſe Erſcheinungen beweiſen zugleich, daß der Leiter ſowohl den Grund zur po-

ſitiven, wie auch zur negativen Elektricität in ſich enthalte, deren Zuſammenſeyn den natürlichen Zuſtand begründet. Wird die Wirkſamkeit des einen Princips durch äußeren Einfluß bekämpft, oder gar beſeitigt, ſo tritt die Wirkſamkeit des andern hervor. Geſchieht dieß durch den Einfluß eines bereits in elektriſchem Zuſtande befindlichen Körpers, ſo ſagt man, es finde Induction oder Elektriſirung durch Vertheilung Statt. Der Raum, in welchem dieſe mit wahrnehmbarem Effecte vor ſich geht, heißt die elektriſche Atmoſphäre eines Körpers.

74. Der Hergang der Elektriſirung durch Vertheilung läßt ſich noch auf eine von der oben beſchriebenen etwas abweichende, nicht minder lehrreiche Art darſtellen. Man bedient ſich dazu eines länglichen iſolirten Leiters, wie z. B. eines etwa 3 L. dicken, 6—8 Z. langen, an beiden Enden rund gefeilten, mit einem iſolirenden, ſenkrecht daran befeſtigten Handgriffe verſehenen Drahtes (Fig. 216), der an mehreren Stellen, unter anderen auch an den Enden Strohhalme, oder an feinen Drähten hängende Hollundermarkkügelchen trägt, die eben ſo viele Elektroſkope vorſtellen. Stellt man dieſen Leiter in verticaler Lage über einen mit Pelzwerk ſtark geriebenen, alſo negativ elektriſchen, oder kurz geſagt mit — E verſehenen Harzkuchen, ſo bemerkt man daran Folgendes: 1) Die am Drahte hängenden Kügelchen werden abgeſtoßen, und zeigen dadurch, daß der Draht elektriſch geworden ſey. 2) Die Ablenkung dieſer Kugeln vom Drahte iſt an beiden Enden desſelben am größten, wird gegen die Mitte zu immer ſchwächer, und nahe an der Mitte gibt es eine Stelle, wo, wenn ſich dort derlei elektroſkopiſche Kugeln befinden, gar keine Ablenkung derſelben Statt hat. Es iſt alſo der Draht an den Enden am meiſten, in der Mitte weniger, an einer Stelle gar nicht elektriſch. 3) Unterſucht man die Beſchaffenheit dieſer Elektricität, indem man dem Leiter eine geriebene Glas- oder Siegellackſtange nähert, ſo findet man, daß das dem Harzkuchen zugekehrte Ende + E, das davon abgewendete — E hat. Es iſt daher der Draht ganz anders elektriſirt, als es durch Mittheilung elektriſirte Körper zu ſeyn pflegen, indem hier beide Elektricitäten und zwar in einem guten Leiter zugleich und doch getrennt vorkommen. 4) Entfernt man den Draht vom Harzkuchen, ohne ihn zu berühren, ſo hört die Ablenkung der Kugeln auf, und es iſt kein Zeichen eines elektriſchen Zuſtandes an demſelben mehr bemerklich, zum abermaligen Beweiſe, daß die hier Statt gehabte Elektriſirung von der durch Mittheilung weſentlich verſchieden ſey. 5) Berührt man den Draht, während er ſich unter dem Einfluſſe des Harzkuchens befindet, an irgend einer Stelle mit dem Finger, ſo geht ein Funke in denſelben über, der Draht verliert die — E, denn die Ablenkung des oberen Kügelchens hört auf; ſeine + E geht aber nicht nur nicht verloren, ſondern iſt ſogar ſtärker als vorher, denn das untere Kügelchen divergirt ſtärker. Nimmt man nun nach geſchehener Berührung den Draht aus der Wirkungsſphäre des Harzkuchens, ſo erſcheint er durchaus mit + E. Es iſt daher dieſe Elektricität frei geworden. 6) Was an dem Draht

bei der Berührung desſelben mit dem Finger geſchieht; das erfolgt eben ſo, wenn man die Berührung an irgend einer Stelle mit einem hinreichend langen iſolirten Leiter vornimmt. Iſt aber der berührende Leiter nur klein, ſo iſt die Stelle der Berührung, bezüglich der nachfolgenden Erſcheinungen, nicht gleichgiltig. Wird der Draht oben, nämlich an dem vom Harzkuchen abgewendeten Ende, wo der Sitz der — E iſt, berührt, ſo zeigt nach Entfernung des berührenden Leiters das obere Kügelchen eine ſchwächere, das untere eine ſtärkere Ablenkung als früher; geſchieht die Berührung unten, am Sitze der + E, ſo erfolgt das Umgekehrte. Bringt man den Draht aus der Wirkungsſphäre des Harzkuchens, ſo zeigt er im erſten Falle + E, im zweiten hingegen — E. 7) Alle dieſe Phänomene laſſen ſich ſo oft hervorbringen, als man will, ohne ſchwächer zu werden, wenn nur der Harzkuchen gehörig elektriſirt iſt. Uebrigens verliert derſelbe durch ſolche Verſuche nichts von ſeiner Elektricität.

Der Umſtand, daß man, wie in 5) geſagt wurde, einen Leiter, der unter dem Einfluſſe eines elektriſchen (z. B. eines mit — E verſehenen) Körpers ſteht, mit dem Finger berühren darf, ohne die entgegengeſetzte Elektricität, welche an der dem genannten Körper zugewendeten Seite des Leiters angehäuft iſt (in unſerem Falle + E), wegzunehmen, während die gleichnamige (— E) ſogleich abgeleitet wird, hat veranlaßt, erſtere Elektricität auf dem Leiter eine gebundene, letztere eine freie zu nennen. Die Abänderung des Verſuches unter 6) zeigt was es damit für eine Bewandtniß habe, und die Folge wird dieß noch mehr aufklaren. Es genüge hier zu bemerken, daß bei der Berührung eines durch Induction elektriſirten Leiters mit einem andern Leiter die Sache ſo zu nehmen ſey, als wäre bloß ein aus den beiden ſo eben genannten zuſammengeſetzter Leiter dem Einfluſſe des elektriſchen Körpers unterworfen. Darnach ſind insbeſondere die verſchiedenen Reſultate zu beurtheilen, welche ſich ergeben, wenn man einen der Induction ausgeſetzten leitenden Körper mit iſolirten Leitern von verſchiedener Größe und Geſtalt auf verſchiedene Weiſe berührt, und die ihm ſo entzogenen Elektricitäten für diejenigen anſieht, welche an den berührten Stellen des Körpers haften. (Pfaff in Schweigg. J. 61. 391; Pogg. Ann. 44. 332; Rieß ebend. 37. 642; 44. 624.)

75. Die Geſetze der Induction zeigen den Weg zu einem feineren Gebrauche des Bennet'ſchen oder Volta'ſchen Elektroſkopes. Iſt die elektriſche Spannung an dem zu unterſuchenden Körper gering, ſo theilt man dem Elektroſkope unmittelbar durch Berührung Elektricität mit; iſt aber die elektriſche Spannung dieſes Körpers bedeutend, ſo bringt man ihn nur in die Nähe des Elektroſkopes: ſobald die Blättchen hinreichend divergiren, berührt man das Elektroſkop mit dem Finger und zieht ſodann den Finger, und hernach den zu prüfenden Körper weg. Die Blättchen des Elektroſkopes divergiren hierauf mit der Elektricität, welche jener des Körpers entgegengeſetzt iſt. Dieſe Elektricität iſt poſitiv oder negativ, je nachdem eine dem Elektroſkope genäherte geriebene Siegellackſtange die Blättchen ſogleich zuſammen fallen oder weiter aus einander gehen macht. Eine geriebene Glasſtange wirkt natürlich entgegengeſetzt.

76. Die ſo eben betrachteten Erſcheinungen der Induction wer-

den offenbar durch die Leitungsfähigkeit des Körpers, woran ſie vorgehen, bedingt, und können daher an einem Nichtleiter höchſtens nur in dem Bereich der nächſten Körpertheilchen Statt haben, deren eines auf das andere inducirend einwirkt. Daß ein ſchlechter Leiter die inducirende Wirkung auf den, durch ſeine Zwiſchenlagerung von dem erregenden Körper getrennten, guten Leiter nicht hindert, zeigt ſich ſchon daraus, daß die oben beſchriebenen Inductionsphänomene in der Luft Statt finden. Nach *Faraday's* Verſuchen macht es keinen Unterſchied ob warme oder kalte, dichtere oder dünnere, mehr oder weniger feuchte atmoſphäriſche Luft oder ein anderes Gas ſich zwiſchen dem inducirenden Körper und dem die Induction erfahrenden Leiter befindet; aber feſte und tropfbare Körper modificiren den Hergang auffallend, was man ſehen kann, wenn man eine Induction in der Luft vor ſich gehen läßt, und ſodann einen ſolchen Körper zwiſchen die in Action befindlichen bringt. Um dieß auf eine einfache Weiſe zu bewirken, ſtellt *Faraday* drei Metallplatten, ſie mögen A, B, C heißen, auf iſolirenden Füßen einander parallel ſo auf, daß man die Diſtanzen der äußeren von der mittleren nach Belieben reguiren kann. In einem Glasgefäße befinden ſich zwei Goldblätter, deren jedes an einem iſolirten Drahte hängt; die beiden äußeren Platen A, C werden jede für ſich mit einem dieſer Goldblätter leitend verbunden. Theilt man nun der mittleren Platte B Elektricität mit, während man zugleich A und C ableitend berührt, und überläßt man dann alles wieder ſich ſelbſt in ſeinem iſolirten Zuſtande, ſo behalten die Goldblätter, obgleich A und C durch Vertheilung von B unter ſich gleichnamig, jedoch dem Zuſtande von B entgegengeſetzt, elekriſch gemacht ſind, ihre parallele Lage, weil A und C, ſo lange B eletriſch iſt, keine Elektricität zeigen können. Bringt man aber zwiſchen B und A eine ganz unelektriſche Schellack- oder Schwefelplatte, ſo erfolgt augenblicklich Anziehung der Goldblättchen. Zugleich erwiſet ſich A poſitiv elektriſch, woraus *Faraday* ſchließt, daß die Induction durch Vermittlung des Schellackes oder Schwefels beſſer vor ſich gehe, als durch die Luft. Aehnliches gilt vom Glaſe; Terpatinöhl, Naphta zeigen Spuren davon (Pogg. Ann. 36. 124.).

77. Nähert man einem iſolirten und elektriſch gemachten Leiter einen andern im natürlichen Zuſtande befindlichen Leiter bis auf eine gewiſſe Diſtanz, ſo endiget die Vertheilung oder Induction mit einem Uebergange der Elektricität von dem erſten auf den zweiten, weniger oder mehr, je nachdem der zweite Leiter iſolirt iſt, oder nicht. Man nennt die Diſtanz, in welcher dieſe *Mittheilung* der Elektricität beginnt, die *Schlagweite*. Sie hängt nebſt der Stärke der Elektricität auf dem erſteren Leiter (der Ladung und der Geſtalt beider, von der Beſchaffenheit des Mediums ab, und iſt insbeſondere in dünner Luft größer als in dichterer.

Dadurch darf man ſich aber nicht verleiten laſſen, die verdünnte Luft für einen Elektricitätsleiter zu halten, denn ein Körper verliert im leeren Raume ſeine Elektricität nicht, wenn kein anderer in der Nähe iſt, der

ſie aufnehmen kann, wie Verſuche über die Fortdauer der Divergenz der Blättchen eines Elektroſkopes unter der Glocke einer Luftpumpe zeigen.

C. Theoretiſche Anſicht der Phänomene der elektriſchen Spannung.

78. Die bisher vorgetragenen Geſetze bilden die Grundlage unſerer Kenntniß jener Aeußerung des elektriſchen Princips, welche man durch das Wort Spannung bezeichnet. Aus dieſen Geſetzen fließen zahlreiche und wichtige Folgerungen, welche in der Erfahrung nothwendiger Weiſe ihre volle Beſtätigung finden. In Betreff der Urſache der Fundamentalphänomene ſelbſt, oder des oberſten Grundes aller elektriſchen Spannungs-Erſcheinungen, laſſen uns die vorhandenen Daten ohne entſcheidende Auskunft. Wiewohl es ſcheinen möchte, als könne man dieſer Auskunft entbehren, in ſo fern es ſich nur um den Zuſammenhang und um die Geſetze der Erſcheinungen handelt, ſo findet man ſich doch bei der wirkichen Entwicklung der Elektricitätslehre äußerſt beengt, wenn man jeder Hinweiſung auf dieſe oberſte Urſache entbehren muß. Es hat dies ſeinen Grund in dem Mangel der Vortheile, die aus der Kenntniß des Weſens des elektriſchen Princips hervorgehen würden, nämlich Einſicht in den ganzen Umfang der Erſcheinungen und in ihre nothwendige Beſchaffenheit bis in das kleinſte Detail. Daher das ſeit der Mitte des vorigen Jahrhunderts, mit den Bereicherungen der Wiſſenſchaft durch Entdeckungen neuer Thatſachen, immer mehr ſich kund gebende Beſtreben, den theoretiſchen Theil der Elektricitätslehre auf eine ſichere Baſis zu gründen. Bald boten ſich zwei verſchiedene Anſichten über das Weſen des elektriſchen Princips dar, deren Anhänger Unitarier und Dualiſten genannt werden, je nachdem ſie alle elektriſchen Phänomene auf die Wirkſamkeit entweder einer einzigen, oder zweier unwägbaren Materien eigener Art zurückführen. Die meiſten Pyſiker haben bisher eine oder die andere dieſer Hypotheſen adoptirt, und unter dieſen ſcheint gegenwärtig die Mehrzahl ſich dem dualiſtiſchen Syſteme zuzuwenden, dem ſich auch das vorliegende Werk anſchließt. Einen eigenthümlichen Verſuch die elektriſchen Erſcheinungen aus einem oberſten Princip abzuleiten, hat in neueſter Zeit Faraday in ſeiner großen Arbeit über die Elektricität aufgeſtellt, von dem weiterhin die Rede ſeyn wird.

79. Das dualiſtiſche Syſtem, als deſſen Urheber man den Engländer Robert Symmer anſieht, poſtulirt die Exiſtenz zweier eigenthümlichen, unwägbaren, ungemein feinen oder ätheriſchen Materien (Flüſſigkeiten), deren eine die poſitive, die andere die negative elektriſche Materie genannt wird. Die Theilchen jedes einzelnen dieſer Stoffe ſtoßen einander ab, aber die Theilchen des einen ziehen die Theilchen des andern an, und zwar befolgt dieſe Anziehung und Abſtoßung das Geſetz des verkehrten Quadrates der Diſtanzen. In ſo fern dieſe elektriſchen Materien an den Körpern haften, entſtehen bewegende Kräfte, welche nach Umſtänden die Körper gegen einander zu führen, oder von einander zu entfernen ſtreben. Im natürli-

chen oder nicht elektriſchen Zuſtande eines Körpers enthält derſelbe beide elektriſchen Materien gleichförmig mit einander gemengt; befindet ſich aber an einer Stelle des Körpers mehr von poſitiver als von negativer Materie, ſo zeigt ſich dort freie poſitive Elektricität, und eben ſo tritt, wenn das negative Fluidum das Uebergewicht behauptet, freie negative Elektricität auf. So weit verhält ſich die Sache gerade ſo, wie in der Theorie des Magnetismus die Action der dort poſtulirten magnetiſchen Flüſſigkeiten; allein hier wird zur Erklärung der elektriſchen Phänomene die Vorausſetzung gemacht, daß die elektriſchen Materien nicht wie die magnetiſchen bloß an den Bereich eines Körpertheilchens, woran ſie vorkommen, gebunden ſeyen, ſondern von einem Theile eines Körpers zu dem andern wirklich übergehen können, in guten Leitern ſehr leicht, in ſchlechten Leitern nur äußerſt ſchwer, in Halbleitern ſo, wie es eben der größere oder geringere Widerſtand geſtattet, den die materielle Beſchaffenheit des Körpers der Bewegung der elektriſchen Flüſſigkeiten entgegenſetzt. Körper, die im natürlichen Zuſtande ſind, zeigen zu einander weder Anziehung noch Abſtoßung, denn beide entgegengeſetzten Kräfte beſtehen da in gleichem Grade; hat aber ein Körper freies Fluidum, z. B. poſitives (+E), ſo wirkt dieſes zerſetzend auf das natürliche Gemenge beider elektriſchen Subſtanzen eines unelektriſchen Körpers, es wird nämlich das Fluidum entgegengeſetzter Art (—E) herangezogen, das gleichnamige (+E) zurückgedrängt. Hierin beſteht die Induction, deren Ergebniß von dem Umſtande abhängt, ob der Körper ein guter oder ſchlechter Leiter iſt. Iſt der Körper, der die Induction erfährt, beweglich, ſo wird er gegen den elektriſchen Körper hingezogen, in Folge der überwiegenden Action der ungleichnamigen, einander näher gerückten Flüſſigkeiten. In einem Leiter begibt ſich die ihm beigebrachte freie Elektricität ſtets auf die Oberfläche, in Folge der jeder der elektriſchen Materien inwohnenden Repulſivkraft.

80. An der Spitze der **Unitarier** ſteht **Franklin**, wohl auch **Aepinus**, dem das Syſtem des erſteren eine weitere Ausbildung verdankt. Nach der Anſicht dieſer Gelehrten gibt es bloß **eine** elektriſche Materie, von der jeder Körper in ſeinem natürlichen Zuſtande ein gewiſſes Quantum enthält. Nimmt der Körper mehr als dieſes Quantum auf, ſo erſcheint er poſitiv elektriſch; ſinkt ſein Gehalt an elektriſcher Materie unter dieſes Quantum herab, ſo erſcheint er negativ elektriſirt. Deßhalb heißt auch der poſitive Zuſtand jener des Ueberfluſſes, der negative jener des Mangels. Die Theilchen der elektriſchen Materie ſtoßen einander ab; die Körpertheile aber wirken anziehend darauf. Der erſteren Kraft iſt die Induction zuzuſchreiben. Der Ueberfluß an elektriſcher Materie eines Körpers ändert nämlich durch ſeine überwiegende Repulſion die natürliche Vertheilung der elektriſchen Materie eines benachbarten Körpers; an dem Theile, der dem im Ueberfluſſe befindlichen Körper zugekehrt iſt, entſteht Mangel, dafür an dem entgegengeſetzten Ueberfluß. Befindet ſich aber der inducirende Körper im Zuſtande des Mangels, ſo erfolgt in dem Körper, der die In-

duction erfährt, die umgekehrte Anordnung der elektriſchen Materie. So weit geht alles ſehr einfach aus dieſer Anſicht hervor, die durch den Umſtand, daß ſie bloß einer elektriſchen Materie zur Darſtellung der Erſcheinungen bedarf, ſogar etwas vor dem dualiſtiſchen Syſteme voraus zu haben ſcheint. Allein die Erklärung der Abſtoßung gleichnamig, und der Anziehung ungleichnamig elektriſirter Körper fordert eine ſubtilere Betrachtung. Die Abſtoßung negativ elektriſcher Körper läßt ſich in dieſer Hypotheſe nur in ſo fern haltbar erklären, als noch vorausgeſetzt wird, daß die Körpertheile, wenn ſie aller elektriſchen Materie beraubt wären, einander abſtoßen würden, und zwar mit einer Kraft, die genau um den Betrag der Gravitation geringer iſt, als die Kraft, womit die elektriſchen Materien der im natürlichen Zuſtande befindlichen Körper einander abſtoßen, während letztere Kraft der Attraction zwiſchen den Theilchen der elektriſchen Materie und denen des gegenüberſtehenden Körpers gleichkommt. Sämmtliche Kräfte werden dabei dem Geſetz des verkehrten Quadrates der Diſtanz unterworfen gedacht. In dieſer Hypotheſe kann es ganz unbeſtimmt bleiben, welche der beiden Elektricitäten, die des Glaſes oder des Harzes, die durch Ueberfluß an elektriſcher Materie erzeugte, alſo die eigentlich poſitive ſey. Es wird jedoch, aber ganz willkürlich angenommen, daß die Elektricität, die gewöhnlich geriebenes Glas zeigt, durch Ueberfluß an elektriſcher Materie entſtehe.

Die ſo eben erwähnte Modification an Franklins Hypotheſe, nämlich die Annahme einer urſprünglichen Abſtoßungskraft der Materie, rührt von Aepinus her. Die Erklärung, die ſonſt gegeben zu werden pflegt, nach welcher die Abſtoßung negativ elektriſcher Körper durch Mitwirkung der atm. Luft erfolgen ſoll, ſteht mit der Erfahrung im Widerſpruch, die lehrt, daß die elektriſche Repulſion auch im luftleeren Raume Statt findet, ſie mag nun von poſitiver oder negativer Elektricität herrühren.

81. Vergleicht man die unitariſche und die dualiſtiſche Hypotheſe über die Grundurſache der elektriſchen Erſcheinungen aufmerkſam mit einander, ſo findet man bald, daß, ſo lange es ſich nur um Phänomene der elektriſchen Spannung handelt, die eine genau zu denſelben Reſultaten führen müſſe, wie die andere. Es kann daher auf dieſem Felde, wo die größere oder geringere Wahrſcheinlichkeit der Vorausſetzungen nicht in Betracht kommt, über den relativen Werth dieſer zwei Anſichten nicht entſchieden werden, ſondern ſie ſind, wenn man die aus einer derſelben gezogenen Folgerungen in den Ergebniſſen der Erfahrung über das Verhalten der Elektricität im Gleichgewichtszuſtande nicht wieder finden ſollte, beide zugleich widerlegt. Wir werden daher in den folgenden Betrachtungen bloß die dualiſtiſche Anſicht, als diejenige, deren Ausdruck eine größere Bequemlichkeit der Darſtellung gewährt, im Auge behalten.

82. Die ſchärfſte Prüfung, der man das gewählte Syſtem unterwerfen kann, beſteht in der Controlle, nicht bloß der qualitativen, ſondern der quantitativen Reſultate durch präciſe Verſuche. Verſteht man

unter gleichen Mengen elektriſchen Fluidums, den bereits in der Lehre vom Magnetismus eingeſchlagenen Gang nachahmend, diejenigen, welche an gleichen Leitern haftend, auf eine beliebige andere Menge elektriſcher Flüſſigkeit in gleichen Diſtanzen gleiche bewegende Kräfte äußern; ſetzt man noch voraus, daß die Vereinigung von 2, 3,... gleichen Quantitäten gleichartiger Elektricität eine 2fache, 3fache... Kraft entwickele, eine Annahme, welche durch die in (69) angeführte Erfahrung gerechtfertiget wird, ſo kann man leicht jede Quantität elektriſcher Materie durch eine Zahl ausdrücken. Es bedarf hiezu nur der Beſtimmung der Einheit. Als ſolche wählt man am ſchicklichſten die Quantität elektriſchen Fluidums, die auf eine ihr gleiche, in der Diſtanz 1 befindliche, mit der bewegenden Kraft 1 wirkt. Iſt nun m die elektriſche Menge eines Theilchens, m' die eines andern, r deren Diſtanz, p ihre gegenſeitige Anziehung oder Abſtoßung, ſo hat man $p = \frac{m\,m'}{r^2}$. Sobald man überhaupt die Exiſtenz elektriſcher Materien zugibt, gehört dieſe Formel zu den erwieſenen phyſikaliſchen Wahrheiten.

Die obige Vorausſetzung über die Proportionalität der elektriſchen Quantitäten und der ihnen anklebenden Kräfte bei gleicher Diſtanz, beſtätiget ſich auch in folgendem Verſuche: Man elektriſirt eine iſolirte Metallkugel, berührt ſie mit der Probeſcheibe (63), überträgt ihre Elektricität an die Coulomb'ſche Wage und beſtimmt die Größe der Abſtoßung. Berührt man dieſe Kugel nachher mit einer zweiten ganz gleichen Kugel, ſo wird offenbar die Elektricität jedes ihrer Puncte auf die Hälfte reducirt, wenn man dann wieder die Größe ihrer abſtoßenden Kraft beſtimmt, ſo findet man ſie auch nur halb ſo groß, als im erſteren Falle. Entgegengeſetzte Elektricitäten, welche an gleichen Leitern auf gleichen Diſtanzen gleiche bewegende Kräfte äußern, mithin nach obigem Begriff der Quantität nach gleich ſind, neutraliſiren ſich auch vollkommen, wenn man ſie auf denſelben Leiter überträgt, wie es in der Grundlage der Theorie ſtillſchweigend vorausgeſetzt wird. An der Richtigkeit des Geſetzes, daß die elektriſchen Kräfte ſich verkehrt wie das Quadrat der Diſtanz der auf einander wirkenden Theilchen verhalten, iſt, zumal nach den äußerſt genauen Verſuchen, die Egen auf eine von Coulomb's Verfahren verſchiedene Weiſe angeſtellt hat, gleichfalls nicht im Mindeſten zu zweifeln.

83. Iſt die Geſtalt eines iſolirten Leiters gegeben, ſo läßt ſich mit Zugrundelegung des im Vorhergehenden ausgeſprochenen Wirkungsgeſetzes der elektriſchen Kräfte die Beſtimmung der Anordnung freier elektriſcher Materie auf der Oberfläche dieſes Leiters nach den Principien der Statik mit Hülfe des höheren Calculs unternehmen. Offenbar muß ſich das elektriſche Fluidum auf der Oberfläche des Leiters ſo lagern, daß die Reſultirende ſämmtlicher Actionen der elektriſchen Partikel gegen einander eine gegen dieſe Oberfläche normale Richtung hat, denn ſonſt könnte ſein Gleichgewicht obwalten. Allein hieraus und aus dem Geſetze des verkehrten Quadrates der Diſtanz folgt, wie Gauß bewieſen hat, nothwendig, daß die Action der elektriſchen Flüſſigkeit auf jeden Punct im Innern des von der Flüſſigkeit

umgrenzten Raumes = o iſt. Hiernach ſieht man, daß dieſe Flüſſigkeit nach innen keine inductive Wirkung hervorbringen kann, wie es ſich vorhinein erwarten ließ. Dasſelbe Princip läßt ſich auf den Fall ausdehnen, wenn ein elektriſcher Leiter einen oder mehrere unelektriſche inducirend afficirt. Sonach iſt man im Stande ein Rechnungsverfahren anzugeben, nach welchem ſich die Dicke der elektriſchen Schichte an jedem Puncte der Oberfläche der Leiter und mithin auch die an dieſem Puncte herrſchende Spannung berechnen läßt, in ſo fern die Methoden der höheren Analyſis geſtatten, die Gleichungen, von denen das Endreſultat abhängt, zu löſen. Die Reſultate des Calculs, den zuerſt Poiſſon unternahm, ſtimmen in allen Fällen, die bisher mit der Erfahrung verglichen werden konnten, mit derſelben genau überein.

Aus dieſen Rechnungen erklären ſich die in (66) angeführten Erſcheinungen, insbeſondere die Wirkung der Spitzen, welche dem Abfließen der Elektricität ſo günſtig ſind. Ein ſehr ſchönes Beiſpiel liefert der Contact zweier leitenden und iſolirten Kugeln von ungleicher Größe. Am Berührungspuncte iſt keine freie Elektricität vorhanden, von da an wächſt die Dicke der elektriſchen Schichte, an den Endpuncten der durch den Berührungspunkt gehenden Durchmeſſer iſt dieſe Dicke am größten. Entfernt man die Kugeln von einander, ſo behält jede die Elektricitätsmenge, die ſie bei der Berührung hatte; das Verhältniß beider Quantitäten hängt von den Halbmeſſern der Kugeln ab. Allein zugleich zerlegt ſich etwas von der natürlichen Elektricität der kleineren Kugel, und ſie erſcheint an dem der größeren zugewandten Theile ihrer Oberfläche entgegengeſetzt elektriſch. Bei zunehmender Entfernung nimmt dieſe entgegengeſetzte Elektricität ab und die elektriſche Spannung iſt an dem Puncte der Oberfläche der kleineren Kugel, in welchem ſie von der Verbindungslinie der beiden Mittelpuncte geſchnitten wird = o. Bei noch größerem Abſtande beider Kugeln herrſcht auf der kleineren überall die frühere Elektricität. Eben ſo laſſen ſich alle Phänomene durch den Calcul auf das genaueſte vorher beſtimmen, die ſich ergeben, wenn zwei mit beliebigen Mengen verſchiedener Elektricitäten verſehene Kugeln einander genähert werden, welcher Fall auch das gewöhnliche Inductionsproblem umfaßt.

84. Obgleich dieſe Theorie der Elektroſtatik, wie es ſcheint, nichts zu wünſchen übrig läßt, als die Vervollkommnung der Hilfsmittel der Rechnung, ihr Princip aber richtig gehandhabt, auf den Weg der Wahrheit führt, mithin als ein giltiges Surrogat derſelben betrachtet werden kann, ſo iſt doch Faraday in Betreff des Herganges der elektriſchen Action anderer Meinung. Folgendes ſind die Grundzüge der von ihm aufgeſtellten, jedenfalls ſehr beachtenswerthen Hypotheſe: Er geht von dem Satze aus, daß es unmöglich ſey, einem Körper in ſeiner Maſſe bloß eine Elektricität allein beizubringen; immer treten beide Elektricitäten zugleich auf, und wenn es auch ſcheint, man habe einem Leiter eine gewiſſe Elektricität gegeben, ſo iſt es doch nur die an ſeiner äußern Begrenzung durch Vertheilung hervorgerufene Elektricität, die wir an ihm wahrnehmen. An ſeiner inneren Begrenzung, wenn er hohl iſt, treffen wir keine Elektricität an, weil ſich da die entgegengeſetzten Actionen einander entgegen ſtehender Theile rings herum aufheben. Ein Nichtleiter läßt ſich eben ſo wenig durch-

aus mit einerlei Elektricität laden, obwohl er ſolche auch im Inneren ſeiner Maſſe zeigen kann; allein immer iſt da auch die entgegengeſetzte Elektricität verſteckt, ſo wie ſie durch Vertheilung hervorgerufen wurde. Die Quelle der Elektricität hat ihren Sitz in den Molekeln der Körper; der elektriſche Zuſtand beſteht darin, daß die Molekel an entgegengeſetzten Hälften entgegengeſetzte Eigenſchaften oder Polarität erlangen; wie ſie dieſelbe bekommen, worin dieſe ihren weiteren Grund hat, kann nicht angegeben werden: dieß wäre das Object einer ferneren Unterſuchung, die man für den Augenblick noch von der Hand weiſen darf. In der Herbeiführung dieſer Polarität der Molekel liegt der Grund deſſen, was man Induction nennt, die demnach die alleinige Aeußerung der Elektricität iſt. Die inducirten Molekel befinden ſich in einem Zwangszuſtande, da ſie in den Zuſtand der Polarität nur auf äußere Veranlaſſung treten; hört dieſe Veranlaſſung auf, ſo nehmen ſie den natürlichen Zuſtand wieder an. Daher geben ſie während ihres polariſchen Verhaltens ein fortwährendes Beſtreben kund, in den früheren Zuſtand zurückzukehren. Die Veranlaſſung zur Herbeiführung der Polarität der Molekel kann der polare Zuſtand eines benachbarten Molekels ſeyn; dieß iſt die einzige Art der Fortpflanzung der elektriſchen Wirkſamkeit eines Molekels auf eine meßbare Diſtanz hin; ein Theilchen kann nur ein benachbartes afficiren, eine unmittelbare inducirende Wirkung in die Ferne findet, nur durch den leeren Raum hin auf die nächſten materiellen Molekel, ſonſt aber nicht Statt. Elektricitätsleitung iſt Uebertragung des polaren Zuſtandes eines Molekels auf ein anderes, wobei das erſtere in ſeinen natürlichen Zuſtand zurückkehrt; bei guten Leitern geht dieſes leicht an, bei ſchlechten ſchwer; der Unterſchied zwiſchen beiden wird durch die Zeit bedingt, die dazu nöthig iſt. Von den Molekeln ſelbſt kann man nicht ſagen ſie ſeyen Nichtleiter, ſie ſind wegen ihrer Empfänglichkeit für Aenderungen ihres natürlichen Zuſtandes als Leiter zu betrachten. Bei ſchlechten Leitern geht der wirklichen Fortpflanzung der Elektricität, die durch die polariſche Affection ihrer Molekel begründete Tendenz dazu voran; hiedurch werden ſchlechte Leiter die Mittel, durch welche elektriſche Körper auf entfernte Leiter wirken und die Erſcheinung der gewöhnlichen Vertheilung hervorbringen. Dieſe Vertheilung kann demnach, wenn ein Leiter die gerade Communication unterbricht, auch auf krummen Wegen zu Stande kommen, wenn nur längs deſſelben nichtleitende Molekel vorhanden ſind. Dieſer Effect wird aber durch die Beſchaffenheit des iſolirenden Mediums (durch das ſpecifiſche Inductionsvermögen deſſelben) bedingt, was, gleichwie die inducirende Action in krummen Linien, nach Faraday einen Hauptgrund für die Richtigkeit der Anſicht abgibt, daß hiebei keine Wirkung in die Ferne (actio in distans), ſondern bloße Fortpflanzung der Wirkung von Theilchen zu Theilchen obwaltet. Sonach erſcheinen Leitung und Iſolirung nur als äußerſte Grade eines gemeinſchaftlichen Effectes. Die inducirende Wirkung der Molekel äußert ſich rings herum; wird der ſie vermittelnde Nichtleiter nach einer gewiſſen Richtung hin betrachtet, ſo iſt jeder Querſchnitt

deſſelben an Summe der Kräfte jedem andern Querſchnitte gleich; dieſe Kräfte entſprechen dem Betrage der gezwungenen Abweichung der Theilchen von dem natürlichen Zuſtande; hiedurch wird bedingt, was man Spannung nennt: es iſt ſomit der Geſammtbetrag der Spannung in jedem Querſchnitte derſelbe. Die Wirkung auf die Entfernung hin wird geſchwächt in dem Maße, als mehr Theilchen an der Kraft Antheil nehmen. Die Spannung ſteigt um ſo höher, je weniger leicht die Mittheilung des polaren Zuſtandes angeht.

Um ein Bild von der Vorſtellung zu geben, die ſich Faraday von einem Nichtleiter macht, vergleicht er die Theilchen deſſelben mit einer Reihe kleiner Magnetnadeln, oder richtiger mit einer Reihe kleiner iſolirter Conductoren. Man denke ſich z. B. ein Gemenge von Luft oder Terpentinöhl, welche Subſtanzen Nichtleiter der Elektricität ſind, und kleinen kugelförmigen Leitern, wie Schrot, letztere etwas von einander abſtehend, um iſolirt zu ſeyn, ſo kann dieß einen Nichtleiter vorſtellen. Befände ſich mitten darin ein elektriſcher Körper, ſo würden alle dieſe kleinen Leiter polar; nach Entladung dieſes Körpers würden dieſelben in ihren natürlichen Zuſtand zurückkehren. Der mittelſt Vertheilung quer durch ſolche Theilchen in einer leitenden Maſſe erregte Zuſtand würde von entgegengeſetzter Art ſeyn, und deſſen Betrag der Kraft des inducirenden Körpers entſprechen. Dieſe Vertheilung könnte in jeder auch krummen Linie, nach Maßgabe der Lagerung der Theilchen des Nichtleiters hervorgerufen werden. Dächte man ſich aber die leitenden Schrote einander näher, oder den Stoff, der die Zwiſchenräume ausfüllt, dem Uebergange der ganzen Wirkung von einem Theilchen auf das andere minder widerſtehend, ſo könnte dieß ein Bild von einem Elektricitätsleiter abgeben.

85. Es iſt noch nicht an der Zeit, über die ſo kürzlich erſt in etwas vollſtändigerer Entwicklung von ihrem Urheber vor den Richterſtuhl des Publicums gebrachte Faraday'ſche Elektricitätstheorie ein erſchöpfendes Urtheil zu fällen; ſie bietet aber ſo reichlichen Stoff zum Nachdenken dar, und ſchließt ſich ſo gut an die Erſcheinungen an, welche im Verfolge der Elektricitätslehre zu beſprechen ſeyn werden, daß ſie in einem Buche von der Tendenz des gegenwärtigen um ſo weniger übergangen werden durfte, als der Grundgedanke derſelben ganz naturgemäß zu ſeyn ſcheint, wenn gleich im Detail manches anders einzukleiden ſeyn möchte. Folgende Bemerkungen werden vorläufig zur Feſtſtellung des Geſichtspunctes der Beurtheilung des elektroſtatiſchen Theiles derſelben dienen können. Daß ein Magnet wie ein Inbegriff polar erregter Theilchen wirkt, iſt keine willkürliche Vorausſetzung, ſondern eine Thatſache (vergl. 11); es iſt daher wenigſtens der Analogie gemäß, ein Gleiches auch bei den elektriſchen Wirkungen zu vermuthen. Bezüglich der Inductionsphänomene jedoch führt die Faraday'ſche Annahme einer bloßen Action von Theilchen auf benachbarte Theilchen zu keiner Erklärung einer elektroſtatiſchen Erſcheinung, von der ſich nicht erwarten ließe, daß ſie den Principien der älteren Theorie, ſo wie ſie Poiſſon in Anwendung gebracht hat, untergeordnet werden könne, den Einfluß des Mediums auf den Hergang der Vertheilung mitgerechnet, da kein Grund vorliegt, die Theilnahme des

letzteren daran auszuſchließen. Doch ſtehen der Ausführung des Calculs hier noch manche Schwierigkeiten im Wege, welche reichlichen Stoff zu künftigen Bemühungen der Mathematiker enthalten.

Zweites Kapitel.

Elektriſirmaſchine und auf elektriſcher Spannung beruhende Apparate.

86. Die im vorhergehenden Kapitel erörterten Fundamentalgeſetze der Elektricitätslehre ließen ſich mit höchſt einfachen Mitteln demonſtriren. Eine geriebene Glas- oder Siegellackſtange lieferte die zu den Verſuchen nöthige Elektricität in hinreichender Menge. Doch aber iſt es intereſſant, die merkwürdige Naturkraft, welche ſich im Blitze in ihrer vollſten Macht zeigt, in einem durch unſere Mittel zn erſchwingenden Grade von Energie zu handhaben. Die Reibung iſt unter allen bekannten Elektricitätsquellen immer das geeignetſte Mittel, einen Zuſtand kräftiger elektriſcher Spannung hervorzurufen. Es handelt ſich nur darum, dieſes mit einer angemeſſenen Ausgiebigkeit ins Werk zu ſetzen. Vor allem muß bemerkt werden, daß von zwei an einander geriebenen Körpern ſtets der eine poſitiv, der andere negativ elektriſch wird. Um viel Elektricität zu erhalten, muß aber die Wahl der ſich reibenden Körper zweckmäßig getroffen werden, und das Reiben ſelbſt ſtark und anhaltend ſeyn. Zu deſſen Ende nimmt man am beſten einen guten und einen ſchlechten Leiter, und bedient ſich einer eigenen mechaniſchen Vorrichtung, an der man überdieß noch durch einen eigens dazu beſtimmten Beſtandtheil die gewonnene Elektricität anſammelt. Auf dieſem Princip beruht die Einrichtung der ſogenannten Elektriſirmaſchine, welche daher aus einem Körper, der gerieben wird, aus einem andern, der zum Reiben deſſelben dient, und aus einem beſonderen Theile zum Auffangen der erregten Elektricität beſteht. Der zu reibende Körper wird ſo eingerichtet, daß man ihn um eine feſte Axe drehen kann, und hat deßhalb die Form einer Scheibe oder eines Cylinders, oft ſogar, jedoch minder gut, jene einer Kugel oder einer Glocke. Der Körper, welcher gerieben wird, das Reibzeug, wird mittelſt Federn an jenen angedrückt. Die entwickelte Elektricität wird in einem eigenen, gut leitenden, wohl abgerundeten und iſolirten Körper, dem Conductor, geſammelt.

Der geriebene Körper beſteht meiſtens aus Glas, wiewohl er an älteren Maſchinen auch aus Porcellan, Schwefel, Seidenzeug, Holz ꝛc. angefertigt wurde; er hat meiſtens die Geſtalt einer Scheibe, weil ſich dieſe an das Reibzeug am beſten anlegt und demſelben auch die größte Fläche darbietet. Das Reibzeug iſt ein ledernes Kiſſen, welches mit einem Amalgam überſtrichen wird, das am beſten aus 1 Theile Zinn, 1 Th. Zink und 2 Th. Queckſilber beſteht, und das Kienmayer'ſche Amalgam heißt; doch ſoll auch Muſivgold (Schwefelzinn) oder geſchabter Graphit eine gute Wirkung thun. Meiſtens beſteht das Kiſſen ganz aus Leder oder iſt mit Haaren oder gar mit Metallſpänen aus-

geſtopft; manche ziehen es aber vor, das Reibzeug gerade nur aus einem Bretchen beſtehen zu laſſen, das mit glattem weichen Leder überzogen iſt. Solcher Reibzeuge braucht man bei einer Scheibenmaſchine vier: ſie werden mit zwei- oder mehrfachen Flügeln aus Wachstaffet verſehen, die ſich an das Glas anlegen und es bis zu der Stelle bedecken, wo die Elektricität an den Conductor abgegeben wird. Soll im Glaſe viel Elektricität frei werden, ſo muß man die des Reibzeuges in die Erde ableiten, damit ſie nicht jene des Glaſes durch ihre Anziehungskraft binde; darum werden auch die Reibzeuge leitend mit der Erde verbunden. Es iſt aber gut, ſie auch zum Iſoliren einzurichten, damit man auch aus ihnen die Elektricität ſammeln, und ſo an einer Maſchine beide Elektricitäten erhalten könne. Der Conductor wird aus Meſſingblech oder aus Packfong verfertiget, er kann aber auch aus Holz beſtehen, das mit Zinnfolie überzogen iſt. Fig. 217 ſtellt eine Scheibenmaſchine vor, in welcher A die Scheibe, B das Reibzeug, C der Conductor iſt. (Gren's Journ. 4. 3. Bohnenberger's Beſchreibung einiger Elektriſirmaſchinen. Stuttgart, 1783.)

87. Zur Beurtheilung der elektriſchen Spannung (Ladung) des Conductors dient Henley's Elektroſkop (Fig. 218). Dieſes beſteht aus einem zarten Holzſtängelchen, das an einem Ende eine kleine Korkkugel trägt, am andern aber am Centrum eines getheilten Halbkreiſes ſo befeſtiget iſt, daß es im Falle der Elektriſirung von der Säule, die das Ganze trägt, in einer mit der Ebene des Gradbogens parallelen Ebene abgeſtoßen werden, und man den Abſtoßungswinkel meſſen kann. Dieſes Inſtrument wird in der Regel am äußerſten Ende des Conductors jeder Elektriſirmaſchine angebracht, und bildet demnach gleichſam einen Beſtandtheil dieſes Apparates.

88. Die Kraft einer Elektriſirmaſchine hängt ab von den Dimenſionen, der Härte und Glätte des geriebenen Körpers, von dem gleichförmigen, an keiner Stelle unterbrochenen Anſchließen der Reibzeuge an den geriebenen Körper und von ihrer gehörigen Größe, von der Güte des Amalgams und ſeiner gleichförmigen Vertheilung, von der Dicke und iſolirenden Kraft der Taffetflügel an den Reibzeugen, von der gehörigen Größe und Abrundung des Conductors, und endlich von der gehörigen Iſolirung aller Theile, welche die Elektricität aufzunehmen beſtimmt ſind.

An einer guten Elektriſirmaſchine laſſen ſich die vorhin erwähnten Erſcheinungen, welche ſich auf das Daſeyn der Elektricität, das Verhalten guter und ſchlechter Leiter derſelben, die Verſchiedenheit der poſitiven und negativen Elektricität, und ihr gleichzeitiges Auftreten beziehen, leicht und ſehr augenſcheinlich hervorbringen. So wie man die Scheibe dreht, geht die Elektricität von ihr in den Conductor über, und ſammelt ſich in demſelben an. Bringt man einen leichten Körper in deſſen Nähe, ſo wird er erſt angezogen, und ſobald er den Conductor berührt hat, wieder abgeſtoßen. Dadurch, daß dieſe Anziehung rings um den Conductor in einer oft ſehr bedeutenden Entfernung herrſcht, gibt ſich die Ausdehnung ſeiner elektriſchen Atmoſphäre zu erkennen. Nähert man dem geladenen Conductor einen guten Leiter, z. B. den Knöchel eines Fingers allmälig, ſo fällt das Henley'ſche Elektroſkop, es ſcheint die Ladung des Conductors abgenommen zu haben; entfernt man ſich wieder, ſo nimmt es bei günſtigen äußern

Umſtänden, wozu vornehmlich Trockenheit der Luft zu zählen iſt, ſeinen früheren Stand wieder ein. Nimmt man als den Leiter, den man dem Conductor nähert, eine iſolirte, gleichfalls mit einem Henley'ſchen Elektroſkope verſehene Metallkugel, ſo kann man an dieſer die vertheilende oder inducirende Einwirkung des Conductors wahrnehmen. War die urſprüngliche Kugel im natürlichen Zuſtande, ſo ſteigt ihr Elektroſkop; iſt ihr vorher die mit jener des Conductors gleichnamige Elektricität mitgetheilt worden, ſo ſteigt ihr Elektroſkop noch mehr; hat ſie entgegengeſetzte Elektricität empfangen, ſo fällt es. Daß hier nicht etwa die Elektricität des Conductors, die ſich mit der Vertheilung der natürlichen Elektricität des genäherten Leiters beſchäftigt, dadurch ſo gebunden wird, daß ſie, wie einige Phyſiker angenommen haben, die Fähigkeit einbüßt, gleichzeitig auf das Elektroſkop zu wirken, ſondern daß hier eine zuſammengeſetzte Action beider Elektricitäten, der des Conductors und der durch Induction angeſammelten des Leiters Statt findet, erhellet aus den oben entwickelten elektroſtatiſchen Principien hinlänglich. Nähert ſich der dem Conductor dargebotene Leiter bis auf eine gewiſſe Diſtanz (Schlagweite), ſo geht ein Funke in denſelben über. Steht eine mit dem Conductor leitend verbundene Perſon auf einem mit Glasfüßen verſehenen Brete (Iſolirſchemmel), ſo ſammelt ſich die Electricität in ihr, und man kann ihr, wie vorhin dem Conductor, an jedem Theile des Körpers Funken entziehen; ihre Haare, die ebenfalls Elektricität angenommen haben, ſträuben ſich, und gehen büſchelförmig aus einander. Iſolirt man das Reibzeug, ſo kann man von dieſem eben ſo wie vorhin von der Scheibe, Elektricität erhalten, doch iſt ſie jener des Conductors entgegengeſetzt. Verbindet man Reibzeug und Conductor mit einander, ſo zeigt ſich keine Spur einer frei gewordenen Elektricität, ſo ſtark und raſch man auch die Scheibe drehen, und ſo wirkſam die Maſchine auch ſonſt ſeyn mag. In dieſem Falle ſtellt ſich am Conductor und Reibzeug ein elektriſcher Strom her, deſſen Phänomene von jenen der Spannung, von welchen bisher allein die Rede war, ganz verſchieden ſind. Der elektriſche Funke ſelbſt iſt eine Aeußerung der Störung des elektriſchen Gleichgewichtes oder der ſtrömenden Elektricität, wovon ſpäter ausführlicher die Rede ſeyn wird.

Auf den Erſcheinungen der elektriſchen Anziehung an einer Elektriſirmaſchine beruhen eine Menge elektriſcher Spielwerke, z. B. die elektriſche Spinne, der elektr. Tanz, das elektr. Glockenſpiel, der elektr. Hagel, das elektr. Vogelneſt ꝛc. Auf eine artige Weiſe läßt ſich die Verſchiedenheit der elektriſchen Zuſtände recht augenſcheinlich darſtellen, wenn man auf einen glatten Harzkuchen eine leitende Platte ſetzt, und in dieſe einmal vom Conductor, das andere Mal vom Reibzeuge Funken gehen läßt (auch die ſpäter zu beſchreibende Leidnerflaſche kann dazu bequem dienen). Hebt man die Platte ab, und überſtreut man die von ihr berührte Stelle des Harzkuchens mit Schwefel oder Mennigpulver, ſo ordnen ſich die Theilchen deſſelben zu merkwürdigen Figuren, die man nach ihrem Entdecker Lichtenbergiſche Figuren nennt. Die von der poſitiven Elektricität herrührende hat ein ſtrahliges Ausſehen, was der durch negative Elektricität entſtandenen Figur gänzlich mangelt, die aus rundlichen Formen beſteht. Dieſer Charakter zeigt ſich ſchon an der Wirkung eines einzelnen Funkens auf die Harzfläche. *(De nova methodo naturam ac motum fluidi electrici investigandi, auct. J. C. Lichtenberg. Gottingae 1778.)*

89. Mit der Elektriſirmaſchine ſteht ein zur Erzielung noch kräftigerer Spannungserſcheinungen, als dieſe unmittelbar gewähren kann,

dienender Apparat, die elektriſche Flaſche oder Batterie in naher Verbindung; auf denſelben Principien wie dieſe beruht ein Surrogat der Elektriſirmaſchine, der Elektrophor, und ein Mittel, ſchwache Anzeigen von elektriſcher Spannung, die ſelbſt der directen Anzeige der Elektroſkope entſchlüpfen, wahrnehmbar zu machen. Daher hier die genannten Apparate mit einander betrachtet werden.

90. Wenn man eine dünne Glastafel auf beiden Seiten mit Zinnfolie belegt (armirt), ſo daß nur ein etwa zwei Finger breiter Rand an beiden Seiten frei bleibt, den man zur Abhaltung der Feuchtigkeit mit einer Auflöſung von Siegellack in Weingeiſt überſtreicht, ſo hat man diejenige Vorrichtung, welche Franklin'ſche Tafel genannt wird. Es heiße der Bequemlichkeit der Rede wegen die Belegung auf der einen Seite A, die auf der andern B, die damit unmittelbar in Berührung ſtehenden Glasſchichten aber a und b. Theilt man der Belegung A eine gewiſſe Elektricität, z. B. + E mit, ſo wird dadurch auch, weil die leitende Belegung der Elektricität ſich auszubreiten geſtattet, das Glas an allen Punkten, in welchen es mit der Belegung in Berührung ſteht, bis auf eine gewiſſe geringe Tiefe, d. h. es wird die Glasſchichte a elektriſirt. Dieſe Elektricität zerſetzt die natürliche Elektricität (± E), welche in der gegenüber ſtehenden Belegung B enthalten iſt, ſehr leicht, da dieſe Belegung der Bewegung der entgegengeſetzten Elektricität kein merkliches Hinderniß in den Weg legt, — E wird angezogen, + E abgeſtoßen. Erſtere, nämlich — E, wird auch dem der Belegung anliegenden Glaſe b bis auf eine geringe Tiefe mitgetheilt, oder was dasſelbe heißt, es wird durch die leitende Belegung die Zerſetzung der natürlichen Elektricität der Glasfläche b möglich; letztere, nämlich die zurückgeſtoßene + E, wirkt, ſo lange B iſolirt iſt, durch ihre Verwandtſchaft zur — E dem von der Fläche A ausgehenden, die Zerſetzung anſtrebenden Einfluſſe entgegen, fließt aber, wenn die Fläche B nicht iſolirt iſt, in den Boden ab, wodurch eine reichlichere Aufnahme ſowohl von — E in die Glasſchichte b, als auch in Folge deſſen von + E in die Glasſchichte a möglich wird. Die Tafel heißt in dieſem Zuſtande geladen. Die den Glasflächen a und b beigebrachten entgegengeſetzten Elektricitäten binden ſich gegenſeitig; ihrer Vereinigung ſteht das Glas als Nichtleiter entgegen. Setzt man aber die Belegungen A und B mit einander in leitende Verbindung, ſo erfolgt Vereinigung der + E und — E. Man ſagt dann, die Tafel werde entladen.

Von dem Abfließen der + E aus B beim Laden der Tafel kann man ſich leicht überzeugen, wenn man die Belegung B iſolirt und ihr dann einen guten Leiter nähert; denn da ſieht man, während die andere Fläche A elektriſirt wird, Funken übergehen, mit denen man ſogar eine zweite ähnliche Tafel laden kann. Daß bei dieſem Verfahren das Glas wirklich geladen werde, und daß man die Belegung nur brauche, um ihm die Elektricität auf einer Seite leicht mitzutheilen, auf der andern ſie leicht abzuleiten, lehrt folgender Verſuch: Man nehme eine dünne Glastafel, armire ſie ſtatt mit Zinnfolie mit Metallplatten, und lade ſie. Nimmt man hierauf mittelſt iſolirender Hand-

griffe die Platten von der Glastafel weg, und berührt ſie mit dem Finger, damit ſie die Elektricität verlieren; ſo lehrt die Erfahrung, daß, ſobald man dieſe Platten wieder als Armatur auf die Glastafel gibt, die indeß unberührt geblieben iſt, dieſelbe geladen erſcheine, und zwar nicht bloß an den beiden äußerſten Flächen, ſondern bis auf eine gewiſſe, wenn auch geringe Tiefe ins Innere des Glaſes hinein. Denn wie könnte es ſonſt kommen, daß eine ſolche Tafel, nachdem man ſie durch einen beide Belegungen leitend verbindenden Körper entladen und ganz ohne Elektricität befunden hat, nach einiger Zeit, wenn die Belegungen iſolirt geſtanden, wieder eine Ladung annimmt. Die eine Belegung, welche mit der Elektricitätsquelle in Verbindung geſetzt wird, hat bloß den Zweck, dem Glaſe Elektricität zuzuführen; ſie würde aber wenig Elektricität aufnehmen können, wenn nicht ein guter Theil derſelben von der entgegengeſetzten der andern Glasfläche gebunden würde. Dieſe entgegengeſetzte würde aber nicht frei werden, wenn nicht jene Elektricität, durch welche ſie im natürlichen Zuſtande gebunden war, in den Boden abfließen könnte, und dieſes Abfließen vermittelt die zweite Belegung. Man kann ſtatt Glas eine dünne Tafel von jedem andern ſchlecht leitenden Körper brauchen. Ein Glimmerblatt wirkt äußerſt kräftig.

91. Eine Flaſche, die in- und auswendig mit Metall beſetzt iſt, wie eine *Franklin*'ſche Tafel, bis auf einen ſchmalen Streifen am oberen Rande, ſtellt eine *Leidnerflaſche* vor. Gegenwärtig gibt man ihr folgende Einrichtung: Ein dünnes Zuckerglas oder ein dünner Glasſturz in umgekehrter Stellung wird in- und auswendig mit Zinnfolie ſo belegt, daß nur ein zollbreiter Streifen am Rande beiderſeits unbelegt bleibt. Dieſen beſtreicht man, um die Belegungen gut zu iſoliren, mit einem Firniß oder mit Siegellack, ſtellt einen Metalldraht ſo hinein, daß er den Boden berührt, ein Paar Zoll über das Gefäß herausſteht, und in einen Knopf endet (Fig. 219). Hält man den Knopf der Flaſche an den wohl elektriſirten Conductor einer Maſchine, während die äußere Belegung in leitender Verbindung mit der Erde ſteht; ſo wird die Flaſche, wie vorhin die *Franklin*'ſche Tafel, geladen, es erhält die innere Belegung die Elektricität des Conductors, z. B. + E, die äußere die entgegengeſetzte (— E), und die Intenſität beider kann ſo weit geſteigert werden, als es der Widerſtand des Glaſes gegen das Beſtreben der beiden Elektricitäten, ſich zu vereinigen, geſtattet. Nach Maßgabe der inneren Ladung einer ſolchen Flaſche geht von der äußeren Belegung Elektricität weg, und die Menge derſelben gibt ein gutes Maß für die Menge der der Flaſche zugeführten Elektricität, und kann zur Berechnung der Dichte der Elektricität benützt werden.

92. Wenn man mehrere Leidnerflaſchen oder *Franklin*'ſche Tafeln ſo mit einander verbindet, daß alle inneren und alle äußeren Belegungen mit einander in leitender Communication ſtehen, ſo erhält man eine *elektriſche Batterie* (Fig. 220). Es iſt klar, daß dieſe geladen wird, wenn man bloß dem Knopfe einer Flaſche Elektricität aus dem Conductor der Maſchine mittheilt, und daß ſie ausgeladen wird, wenn man bloß die innere Belegung *einer* Flaſche mit ihrer äußeren durch einen guteu Leiter in Verbindung ſetzt. Eine Bat-

terie vertritt eigentlich eine große Leidnerflaſche, hat aber vor dieſer den bedeutenden Vorzug, daß man ſie nach Belieben vergrößern und verkleinern kann, indem man neue Flaſchen zugibt oder einige von der Communication mit den übrigen ausſchließt, endlich wird durch Beſchädigung einer Flaſche nicht gleich die ganze Batterie unbrauchbar, wie dieſes bei einer großen Flaſche immer der Fall iſt.

Wenn man mehrere Franklin'ſche Tafeln oder Leidnerflaſchen neben einander ſtellt, und die eine Belegung der einen mit der andern Belegung der zunächſt folgenden in leitende Verbindung ſetzt; ſo wird auch das ganze Syſtem der Tafeln oder Flaſchen geladen werden, wenn man auch nur der einen Belegung der erſteren Elektricität mittheilt; allein die Stärke der Ladung nimmt vom erſten Elemente angefangen ab, und zwar deſto ſchneller, aus je dickerem Glaſe dieſe Elemente gemacht ſind. Eine ſolche Zuſammenſtellung nennt man eine elektriſche Säule.

93. Eine geladene Leidnerflaſche erſcheint immer an der Belegung, der man + E mitgetheilt hat, mit poſitiver Elektricität, an der entgegengeſetzten mit negativer Elektricität, und beide ziehen ſich an, binden ſich zum Theile, können ſich aber wegen der ſchlechten Leitung des Glaſes nicht vereinigen. Doch kann ihre Intenſität durch Laden ſo weit geſteigert werden, daß ſie ſich durch das Glas vereinigen und dasſelbe durchbohren. Je dicker das Glas iſt, deſto ſchwerer kommt es zu einer ſolchen Entladung, und es wird ſelbſt die Spannung der beiden Glasflächen bei einerlei Zuleitung der Elektricität deſto kleiner ſeyn, je dicker das Glas iſt. Berührt man den Knopf einer Flaſche mit dem Finger, ſo geht ein Funke in denſelben über, die Spannung der Flaſche vermindert ſich, iſt aber noch nicht ganz aufgehoben. Zu letzterem braucht es mehrere, oft eine ſehr große Zahl von derlei Berührungen. So oft man einer Belegung etwas Elektricität nimmt, läßt auch die andere einen Theil ihrer Elektricität fahren. Die Luft bewirkt dieſe Ausladung mit der Zeit, wenn auch langſam, von ſelbſt. Doch hat man auch beſondere Einrichtungen an Flaſchen, um ihre Ausladung durch die Luft zu verzögern (Sperrflaſchen).

94. Die Wirkungen, welche die Entladung einer Leidnerflaſche oder gar einer elektriſchen Batterie zur Folge hat, zumal einer von größeren Dimenſionen und durch eine kräftige Elektriſirmaſchine geladenen, ſind ihrer Stärke wegen in hohem Grade überraſchend, und geben zu vielen intereſſanten und glänzenden Verſuchen Veranlaſſung. Nähert man dem Knopfe einer geladenen Flaſche oder Batterie einen mit der äußeren Belegung in Berührung ſtehenden Draht, ſo entſteht bei der Entladung ein hellleuchtender Funke mit einem eigenthümlichen Schalle, der bis zur Stärke eines förmlichen Knalles gehen kann. Die größte Diſtanz, in welcher dabei das Drahtende vom Knopfe zur Entladung ſtehen darf, beſtimmt die Schlagweite der Flaſche oder Batterie. Iſt dieſe Diſtanz kleiner als die größte Schlagweite, ſo entladet ſich die Flaſche ſchon während des Ladens (Lane'ſche Flaſche), und man hat durch Regulirung dieſer Diſtanz ein Mittel, der Entladung eine conſtante Stärke zu geben. Iſt der Draht dünn, ſo wird

er glühend und zerſtiebt in Funken. Faßt man die äußere Belegung mit der einen Hand, und nähert man die andere dem Knopfe, ſo fühlt man bei der Entladung eine Erſchütterung in den Armgelenken (elektriſcher Schlag), deren Stärke von der Größe der Ladung abhängt und bei einer Batterie leicht gefährlich werden kann. Der Schlag einer Batterie tödtet ſelbſt größere Thiere. Dieſer Schlag geht durch eine Reihe Perſonen hindurch, die ſich bei den Händen faſſen, wenn die äußerſten mit den beiden Belegungen einer Flaſche in leitende Verbindung geſetzt werden. Auf ähnliche Weiſe läßt er ſich auch in einer beliebigen Richtung durch den Körper eines Menſchen leiten. Bietet man ihm zugleich mehrere Wege dar, ſo theilt er ſich unter ſie nach Maßgabe ihrer Leitungsfähigkeit. Daher kann man eine geladene Flaſche ohne Scheu entladen, wenn man einen Draht von angemeſſener Dicke hinter ſeinen Enden mit den Händen faßt und die beiden Belegungen mit den Drahtenden berührt; der bei weitem größte Theil der Ladung geht durch den Draht, und was durch den Körper geht, iſt unmerklich. Der Leitungsfähigkeit des Bodens und der dadurch eingeleiteten Theilung des Schlages iſt es zuzuſchreiben, wenn bei einer ſehr langen Kette von Perſonen die in der Mitte befindlichen den Schlag nicht fühlen, während die äußerſten ihn erhalten. Merkwürdig iſt es, daß während ſchon der einfache Funke einer Elektriſirmaſchine Knallluft und Schwefeläther, der einer kleinen Leidnerflaſche Colophoniumſtaub entzündet, der Schlag einer ſtarken Batterie dem Schießpulver nichts anhaben kann, wenn man nicht ein Hinderniß in den Schließungskreis der Batterie, z. B. eine naſſe Seidenſchnur einſchaltet, wodurch die Entladung verzögert wird. Bemerkenswerth ſind noch die mechaniſchen Wirkungen der Entladung einer kräftigen Batterie. Leitet man den Schlag mittelſt zweier etwas von einander abſtehenden Drähte durch die Aushöhlung eines kleinen Mörſers, den man mit einem Korkpfropfe verſchloſſen hat, ſo wird der Pfropf mit Gewalt herausgetrieben. Eine mit Waſſer gefüllte Glasröhre, in welche beiderſeits Drähte, bis auf einen Abſtand von etwa $^1/_2$ Zoll eingeſetzt ſind, wird unter gleichen Umſtänden geſprengt. Dasſelbe geſchieht ſogar mit einer Glaskugel, deren Wände 1 Zoll dick ſind und in welcher ein Waſſertropfen eingeſchloſſen iſt, wenn die Entladung ihren Weg durch dieſen nimmt. Papier, Holz, Glas ꝛc. in den Schließungskreis einer Batterie gebracht, werden durchbohrt. Um die Entladung mit Bequemlichkeit zu verrichten und dem elektriſchen Schlage die gewünſchte Richtung zu geben, dient der ſogenannte Henley'ſche Auslader (Fig. 221). Auch eine Vorrichtung, aus zwei ſtarken, an den einen Enden mit Kugeln verſehenen Drähten beſtehend, deren andere Enden um ein Scharnier beweglich ſind, woran eine gläſerne Handhabe angebracht iſt (Fig. 222), um damit den Strom zu führen, den Ladungsrückſtand geladener Batterien (der oft auch nach zweimaliger Entladung noch ſehr bedeutend iſt) gefahrlos wegzuſchaffen u. dgl., wird Auslader genannt. Uebrigens ſind die Wirkungen einer geladenen Batterie von jenen des Funkens aus dem Conductor einer Elektriſirmaſchine nur dem Grade nach

verſchieden, und es kann letzterer für ſich allein ſchon namhafte Effekte hervorbringen.

Durch den Batteriefunken können ſelbſt ponderable Stoffe in einem ein zertheilten Zuſtande von einem Orte an den andern übertragen werden. So hat Fuſinieri bemerkt, daß eine Silberſcheibe, die zwiſchen einer ſilbernen und einer goldenen Kugel ſtand, als die Entladung einer Batterie durch dieſe Körper geführt wurde, auf jeder Seite einen vergoldeten Fleck bekam. Auch eigentliche chemiſche Wirkungen werden durch ſolche elektriſche Entladungen hervorgebracht. An der Stelle, wo ein kräftiger elektriſcher Funke Statt findet, verbindet ſich der Stickſtoff der atm. Luft mit dem Sauerſtoffe zu Salpeterſäure, daher die Röthung der Lakmustinktur, womit ein Papier befeuchtet iſt, wenn man eine Reihe von Funken aus einer kräftigen Elektriſirmaſchine darüber hinweggehen läßt. Desgleichen werden zuſammengeſetzte Stoffe durch einen ſolchen elektriſchen Strom zerſetzt. Doch wird es angemeſſener ſeyn, hievon erſt an einer ſpäteren Stelle im Zuſammenhange mit andern ähnlichen Phänomenen der Elektricität zu handeln.

95. Ueber die Spannung, welche die Ladung einer Batterie zeigt, hat Rieß genaue Verſuche angeſtellt. Die Ladungsgröße der Batterie wurde dadurch beſtimmt, daß er ſelbe iſolirte, und die Anzahl der Entladungen, welche die von der äußeren Belegung in eine Lane'ſche Flaſche geführte Elektricität letzterer beibrachte, als Maß der Elektricitätsmenge anſah, welche die Batterie vom Conductor der Elektriſirmaſchine empfing. Die Ladung der Batterie durch die geladene Oberfläche dividirt, gibt die Dichte der angehäuften Elektricität. Rieß fand die Abſtoßung einer der Innenſeite der Batterie (dem Knopfe) anliegenden Kugel, eben ſo die Anziehung einer entfernten, nicht iſolirten Kugel durch die Innenſeite der Batterie dem Quadrate der Dichte; die Abſtoßung einer entfernt ſtehenden elektriſchen Kugel und die Schlagweite der Batterie der einfachen Dichte der angehäuften Elektricität proportionirt. Letztere iſt gänzlich unabhängig von der Beſchaffenheit des Schließungsbogens. Die Elektricitätsmenge, welche bei Entladung der Batterie in der Schlagweite verſchwindet, iſt merklich dieſelbe, der Schließungsbogen mag aus was immer für Metalldrähten beſtehen. Der Rückſtand der Ladung wurde durch Meſſung der Elektricitätsmenge ausgemittelt, welche nothwendig war, die Batterie auf den früheren Grad zu laden. (Pogg. Ann. 40. 321; 3. 1. Dove's Repert. 2. 36.)

96. Daß die Entladung eines in elektriſchem Zuſtande befindlichen Körpers auf der Fortpflanzung der elektriſchen Action längs des Leiters beruhe, mithin die Vorſtellung der Bewegung davon unzertrennlich ſey, hat man ſtets vorausgeſetzt, ohne im Beſitze eines direkten Beweiſes für dieſe Annahme zu ſeyn. Schon im Jahre 1747 ſuchte Watſon die Geſchwindigkeit der Elektricität durch Verſuche nachzuweiſen, er konnte aber ſelbſt an einer 4 engl. Meilen langen Leitung keine Spur einer ſucceſſiven Fortpflanzung der Elektricität wahrnehmen. Neueſtens hat Wheatſtone alle Zweifel hierüber gelöſt, indem er fand, daß bei der Entladung einer Leidnerflaſche durch einen langen Draht, der ſowohl nächſt den beiden Belegungen, wie auch in

der Mitte unterbrochen war, die Funken an den Enden gleichzeitig, hingegen der in der Mitte des Drahtes ſpäter als dieſe erſchien. Das ſinnreiche Verfahren Wheatſtone's erlaubte ſogar die Geſchwindigkeit der Elektricität zu beurtheilen. Es ergab ſich, daß bei der Entladung einer Leidnerflaſche durch einen Kupferdraht dieſe Geſchwindigkeit auf 288000 engl. Meilen in einer Secunde angeſchlagen werden könne.

Wheatſtone ſtellte die Unterbrechungen des Leitungsdrahtes, woran die Zeitpuncte des Eintretens des Entladungsfunkens beobachtet werden ſollten, in eine gerade Linie, und ließ einen kleinen ebenen Spiegel ſich um eine dieſer Linie parallele Axe ſehr ſchnell drehen. Durch ein mit dem Spiegel zugleich ſich drehendes Metallſtück wurde die Entladung der Leidnerflaſche in dem Augenblicke bewerkſtelliget, in welchem der Spiegel in einer ſolchen Lage ſich befand, daß die Unterbrechungen des Leitungsdrahtes darin geſehen werden konnten. Da aber das Bild eines Gegenſtandes, das man in einem Spiegel ſieht, ſich verſchiebt, wenn ſich der Spiegel dreht, und zwar in einer gegen die Axe des Spiegels ſenkrechten Richtung, ſo mußte jeder Funke an den genannten Stellen um ſo mehr verlängert erſcheinen, je länger er dauerte und je ſchneller der Spiegel ſich bewegte, und wenn zwei dieſer Funken nicht gleichzeitig, ſondern nach einander ſich einſtellten, ſo mußte das Bild des ſpäteren gegen jenes des früheren ſich in dem genannten Verhältniſſe nach der Richtung der Drehung des Spiegels verſchoben zeigen. Aus optiſchen Gründen folgt (ſiehe die Lehre vom Lichte), daß das Zeitintervall zwiſchen dem Erſcheinen der zwei Funken ſich zur Dauer einer Umdrehung des Spiegels verhält, wie die Hälfte der Verſchiebung des Bildes im Bogenmaße zu 360°. Nach Wheatſtone's Beobachtung zeigten die den Drahtenden nächſt den Belegungen entſprechenden Funken keine merkliche Verſchiebung; der Funke in der Mitte aber trug das Merkmal der Verſpätung an ſich. Bei einer Drahtlänge von $^1/_2$ engl. Meile und 800 Umläufen des Spiegels in der Secunde betrug die Verſchiebung $^1/_2$ Grad; es war ſonach die Zeit, welche die Elektricität brauchte, um $^1/_4$ engl. Meile zurückzulegen $= \frac{\frac{1}{2}\text{ Sec.}}{2.800.360}$, was auf eine Geſchwindigkeit von $800.360 = 288000$ engl. Meilen in 1 Secunde ſchließen läßt.

97. Wheatſtone's ſo eben erklärter ſchöner Verſuch beweiſet zugleich, daß die Entladung einer Leidnerflaſche von beiden Belegungen ausgeht, alſo die Ausgleichung der entgegengeſetzten Elektricitäten in zwei gegen einander ſich bewegenden Strömen geſchieht, in ſofern man nämlich hier unter Strom die Fortpflanzung einer Wirkung nach einer gewiſſen Richtung verſteht. Handelte es ſich um die Wahl zwiſchen der Hypotheſe der Unitarier und jener der Dualiſten (81), ſo müßte dieſer Umſtand als ein Grund für letztere gelten. Es ſcheint aber ſehr unwahrſcheinlich, daß in dem Verbindungsdrahte der Belegungen ein wirkliches Fortſtrömen eines materiellen Stoffes obwalte, ſondern man wird hier gewiß das Fortſchreiten eines Veränderungsactes des Zuſtandes der Körpertheilchen viel natürlicher finden. In ſofern dürfte alſo eine Anſicht, der ähnliche Principien, wie der Hypotheſe Faraday's (84) zum Grunde liegen, als naturgemäßer erſcheinen. Welche Bewandtniß es nun auch immer damit haben möge,

ſo nöthiget uns dieſe Thatſache, wenn von der Ausgleichung zweier entgegengeſetzten Elektricitäten die Rede iſt, zwiſchen dem Strome, der von der Seite herkommt, wo die poſitive Elektricität herrſcht, und dem von der negativen Seite ausgehenden einen Unterſchied zu machen. Erſterer ſoll der poſitive, der andere der negative Strom heißen. Da es aber oft unbequem iſt, von beiden Strömen zu reden, und, wenn man ſich bloß auf die Betrachtung eines derſelben beſchränkt, den ihn bezeichnenden Beiſatz ſtets im Munde zu führen, ſo ſetzen wir für alles Folgende im Einklange mit dem herrſchenden Sprachgebrauche feſt, daß, wenn von elektriſchem Strome ohne Beiſatz geſprochen wird, immer nur der poſitive Strom gemeint ſey.

Rieß zeigte auf eine ſehr ſcharfſinnige Weiſe, daß die Elektricität der Batterie bei der Entladung in der Schlagweite ſich ſucceſſiv ausgleicht. Es ergibt ſich nämlich, daß bei Einſchaltung einer Waſſerſäule in den Schließungsbogen ſich die Schlagweite nicht ändert, aber ein größerer Rückſtand der Ladung in der Batterie zurückbleibt. Dieß konnte nur durch eine Einwirkung des Waſſers nach dem Ausbruche der Entladung (wo die Ladung der Batterie geringer wurde) geſchehen. Daß dennoch ein bedeutender Theil der Elektricität der Batterie ſich entladen kann, hat ſeinen Grund in der Verdünnung der Luft, während ſie der Funke durchbricht, wodurch die Schlagweite ſich vergrößert, alſo die Entladung der Batterie noch möglich wird, ſelbſt wenn ihre Ladung herabſinkt. (Pogg. Ann. 53. 14.)

98. Ein äußerſt wichtiges Inſtrument iſt der von Wilke erfundene und von Volta verbeſſerte Elektrophor (F. 223). Dieſer beſteht aus einem glatten Harzkuchen, der in eine gut leitende Form gegoſſen wird, und aus einem wohl abgerundeten, ebenfalls leitenden Deckel von etwas geringeren Dimenſionen als der Harzkuchen iſt, und welcher mittelſt ſeidener Schnüre iſolirt werden kann. Wird der Harzkuchen mit einem Fuchsſchwanze oder mit Katzenfell gerieben, ſo wird er negativ elektriſch. In dieſem Zuſtande laſſen ſich folgende Erſcheinungen hervorbringen: 1) Unterſucht man den auf dem Kuchen liegenden Deckel, ſo zeigt er oben die Elektricität des Kuchens (— E), unten die entgegengeſetzte (+ E). 2) Stellt man den Deckel auf den Kuchen und hebt ihn wieder auf, ohne ihn berührt zu haben, ſo gibt er kein Zeichen der Elektricität. 3) Berührt man ihn, während er auf dem Kuchen liegt, mit dem Finger, ſo bemerkt man einen kleinen Funken, und der dann aufgehobene Deckel zeigt + E. 4) Berührt man nach Auflegen des Deckels mit einem Finger die Form, mit dem andern den Deckel, ſo erhält man einen Stoß. Der dann aufgehobene Deckel verhält ſich wie in 3). 5) Richtet man den Elektrophor ſo ein, daß der Kuchen aus der Form genommen werden kann; ſo findet man am Kuchen, ſo lange der Deckel aufliegt, unten + E. Die Form zeigt oben — E, unten + E. 6) Alle dieſe Erſcheinungen erfolgen, die Form mag iſolirt ſeyn oder nicht, nur mit dem Unterſchiede, daß die iſolirte Form nach dem Berühren in 4) und nach der Aufhebung des Deckels — E zeigt, und daher bei der Berührung einen Funken gibt.

Die Wirkſamkeit eines Elektrophors hängt von der Größe des Kuchens, von ſeiner Härte, Glätte und Dichte, und von der Form und Beſchaffenheit des Deckels ab. Man erhöht ſie durch Vergrößerung, Preſſen, Abſchleifen und Poliren der Harzmaſſe, durch Wahl eines Deckels, der ohne Spitzen und eben iſt, und ſich gut an die Harzfläche anſchließt. Die beſte Harzmaſſe zu einem Elektrophor erhält man aus 10 Theilen Gummilack, 3 Th. Harz, 2 Th. venet. Terpentin, 2 Th. Wachs und $^1/_2$ Th. Pech. Man kann ſtatt des Harzkuchens auch eine Glastafel nehmen, allein dieſe hält die Elektricität nicht lange genug. Weber erſetzte ihn gar durch eine Luftſchichte. Wodurch man ihn aber immer erſetzen mag, ſo bleiben doch die Erſcheinungen dieſelben, mit der einzigen Ausnahme, daß man, wenn der elektriſche Körper + E hat, in allen erwähnten Phänomenen auch ſtatt + E, — E und umgekehrt erhält. Man bedient ſich des Elektrophors mit Vortheil zu Zündmaſchinen; man kann auch Flaſchen damit laden. Als Reibzeug braucht man am beſten Fuchsſchwänze, Katzen-, Haſen- oder Marderfelle und trockenen warmen Flanell.

99. Alle dieſe Erſcheinungen des Elektrophors ſind Folgen der Elektriſirung durch Vertheilung. Die — E des Kuchens bewirkt im Deckel eine Zerlegung der ± E, ſie zieht + E an, ſtoßt — E ab; daher die Erſcheinungen 1, 2, 3. Im Kuchen ſelbſt erzeugt — E der oberen Fläche unten + E. Dieſe zerſetzt wieder ± E der Form, zieht — E an und ſtoßt + E ab; daher die Phänomene 4, 5, 6. (Hummel in Zeitſchr. n. F. 2. 213.) Der Kuchen des Elektrophors mit ſeinen beiden Belegungen ſtellt eine Franklin'ſche Tafel vor, und kann wie dieſe geladen werden. Theilt man dem Deckel — E mit, ſo erhält auch die obere Fläche des Kuchens — E; entladet man hierauf den Apparat, ſo verliert der Kuchen nicht alle — E, und nun beginnt die eigentliche Wirkung des Elektrophors. Hieraus erhellet die Beziehung des Elektrophors zur Franklin'ſchen Tafel, und wie man letztere in einen Elektrophor umſtalten kann.

100. Der Condenſator, ein von Volta zuerſt bekannt gemachtes Inſtrument, dient ſchwache Elektricitäten zu entdecken, die mittelſt eines gewöhnlichen Elektroſkops nicht mehr entdeckt werden können. Er beſteht in ſeiner beſten Einrichtung aus zwei eben geſchliffenen runden Metallplatten, wovon die untere auf einem iſolirten Fuße ruht, während die obere mit einem iſolirenden Handgriffe verſehen iſt. Die zwei einander zugewendeten Seiten der Metallplatten ſind mit einer ſehr dünnen Firnißſchichte überzogen. Sehr zweckmäßig iſt es, die Collectorplatte eines empfindlichen Elektroſkops gleich als Bodenplatte des Condenſators dienen zu laſſen. Man pflegt ihr auch an der Seite ein vorſtehendes, in einen Knopf ſich endigendes Drahtſtück anzuſetzen, Fig. 224. Wir wollen in den folgenden Betrachtungen der Kürze wegen die iſolirte Oberplatte A, die mit dem Elektroſkope verbundene Unterplatte B nennen.

Statt die Metallplatten an den Berührungsflächen durch eine Firnißſchichte zu trennen, kann man auch dieſelben dadurch iſoliren, daß man die Platten ſich nicht berühren läßt, ſondern auf die Unterplatte kleine Glas- oder Siegellackſtückchen gibt, und die Oberplatte darauf ſetzt. Hier dient die zwiſchen den Platten befindliche Luftſchichte ſtatt

des Firniſſes. Man kann ſtatt metallener Platten auch übergoldete Glasplatten anwenden. Früher nahm man zur Unterplatte des Condenſators eine Platte aus einem Halbleiter, meiſtens Marmor, wobei die Firnißſchichte an der Oberplatte zwar entbehrlich war, aber das Inſtrument weit weniger leiſtete, als bei der jetzt allgemein üblichen oben angegebenen Einrichtung.

101. Beim Gebrauche des Condenſators ſtellt man die zwei Platten A und B auf einander, berührt eine derſelben mit dem Finger, während die andere mit jenem Körper in Contact kommt, deſſen Elektricität man erſichtlich machen will, und läßt dieſe Berührung einige Secunden dauern, dann hebt man A am iſolirenden Stiele ab, und ſieht zu, ob das mit B verbundene Elektroſkop Zeichen von Elektricität von ſich gibt. Hat man A mit dem Körper berührt, ſo zeigt das Elektroſkop die entgegengeſetzte: hat man B mit dem Körper berührt, ſo zeigt es die gleichnamige Elektricität hinſichtlich jener des Körpers an.

102. Die Wirkung des Condenſators wird klar, wenn man ſich denſelben als eine Franklin'ſche Tafel denkt, deren Glasplatte in zwei Theile geſpalten iſt. In der That ſtellt jede der zwei Metallplatten eine Armatur, beide ſich berührende Harzſchichten aber die Glasplatte vor. Bringt man nämlich, während die Platten auf einander ruhen, einen z. B. poſitiv elektriſchen Körper M mit der Platte B des Condenſators in Berührung, ſo wird dieſe ſelbſt durch Mittheilung elektriſch, nimmt aber, zumal wenn A mit dem Finger berührt wird, von M mehr Elektricität auf, als wenn ſie mit A nicht in Berührung ſtände; denn die mitgetheilte + E zerſetzt ± E der Oberplatte, und + E wird abgeſtoßen, — E angezogen. Letzteres — E iſt aber nicht ſo intenſiv als nöthig wäre, um mit dem + E der Platte B den natürlichen Zuſtand zu begründen, oder der Unterſchied in der Intenſität beider Elektricitäten iſt deſto größer, je dicker die Harzſchichte iſt. Es bindet darum — E von A nicht die ganze Menge + E von B, und es beſteht + E der Platte B aus zwei Theilen, einem gebundenen und einem freien. Letzterer iſt, wenn A mit dem Finger berührt wird, in Vergleich mit erſterem ſehr gering, ihm allein hält die Elektricität des zu unterſuchenden Körpers M das Gleichgewicht, und es hat darum die Platte B von M weit mehr Elektricität aufgenommen, als ſie hätte aufnehmen können, wenn die Condenſatorplatte B allein vorhanden geweſen wäre. Aus dieſer Theorie ergibt ſich zugleich die Vorſichtsmaßregel bei der Anwendung des Condenſators jedesmal vorher zu unterſuchen, ob die Firnißſchichte auf den Platten nicht durch früheren Gebrauch elektriſch geworden ſey, und deßhalb der Condenſator elektrophoriſch wirke. Cavallo's Collector iſt von dem Condenſator nicht weſentlich verſchieden.

Um ſich den Hergang der Sache deutlich vorzuſtellen, nehme man an, es werde A nicht mit dem Finger berührt, wodurch jede Elektricitätsmenge abfließen kann, ſondern nur mit einem iſolirten Leiter, den man, ſo wie er zurückgeſtoßene + E aufgenommen hat, entfernt, dann entladet, wieder mit A in Contact ſetzt, und ſo fort. So wie nun ein Theil der an die Unterplatte B von M abgegebenen + E gebunden iſt,

nimmt dieſelbe von M wieder neue $+E$ auf, dieſe zerſetzt wieder einen Theil der $+E$ der Platte A, und dadurch wird wieder ein Theil der $+E$ von B gebunden, und ſo geht es fort, bis keine Elektricität von M mehr aufgenommen werden kann. Geſetzt, es verhalte ſich die der Platte B von M zuerſt mitgetheilte $+E = P$ zu der von dieſer Elektricität gebundenen $-E = Q$ wie $1 : m$, wo $m < 1$ iſt; ſo hat man $mP = -Q$ oder $mP + Q = 0$. Nun bindet aber wieder $-Q$ der Platte A von $+E$ der Platte B die Quantität $= P'$, für welche man wieder hat $P' : Q = m : 1$ oder $P' + mQ = 0$. Daraus wird aber mittelſt der vorhergehenden Gleichung $P' + m^2 P = 0$. Für ſich und ohne Einwirkung der Platte A hätte B von M die Elektricitätsmenge $R = P - P'$ aufgenommen, und es iſt darum $R = P - P' = (1 - m^2)P$ und $\frac{P}{R} = \frac{1}{1 - m^2}$. Die Größe $\frac{P}{R}$ gibt die condenſirende Kraft des Inſtrumentes an.

103. Die dem Condenſator beigebrachte Elektricität kann zur Erzeugung neuer Elektricität dienen; läßt ſich dieſe mit der früher erzeugten vereinigen, ſo wird erſtere dadurch verſtärkt. Hierauf beruht Bennet's Duplicator, womit Grade der Elektricität, die ſelbſt nach der einfachen Condenſation auf das Elektroſkop zu wirken unvermögend ſind, bemerklich gemacht werden können. Ohne hier auf die Veränderungen einzugehen, die dieſes Inſtrument durch Nicholſon, Bohnenberger und Andere erhalten hat, wird das Princip der Elektricitätsverdopplung, das demſelben zum Grunde liegt, durch folgende Darſtellung klar werden. Es ſeyen B und C zwei gleiche, mit Elektroſkopen verſehene, neben einander ſtehende Condenſator-Unterplatten, und A eine darauf paſſende, mit dem iſolirenden Handgriffe verſehene Oberplatte. Man berühre, nachdem man A auf B geſetzt hat, B mit dem Körper, deſſen Elektricität, z. B. $+E$, nachzuweiſen iſt, und zugleich A mit dem Finger, ſo wird in B eine gewiſſe Menge $+E$ durch die in A latent gewordene entſprechende $-E$ gebunden. Man hebe A von B am iſolirenden Griffe hinweg, wodurch die $-E$ in A und $+E$ in B frei werden, und ſetze A auf C, ſo wird die natürliche Elektricität in C durch die $-E$ der Platte A zerſetzt, und wenn man jetzt C mit dem Finger berührt, durch wechſelſeitiges Binden die $-E$ in A und eine entſprechende Menge von neu entſtandener $+E$ in C feſtgehalten. Bringt man nun C mit B mittelſt eines an einem iſolirenden Griffe gehaltenen Metallſtückes in leitende Verbindung, ſo geht ein Theil der in B befindlichen freien $+E$ in C über und wirkt auf die Elektricität in A zerſetzend, ſo daß, wenn man A mit dem Finger berührt, faſt alle $+E$ aus B in C geführt und gebunden wird, während in A eine entſprechende Menge $-E$ latent wird. Es iſt demnach die Menge der in C gebundenen $+E$, wie auch jene der in A gebundenen $-E$ faſt doppelt ſo groß als früher. Setzt man jetzt wieder A auf B und wiederholt das angegebene Verfahren, d. h. berührt man B mit dem Finger, ſtellt hierauf eine leitende Verbindung zwiſchen B und C her, und berührt endlich A mit dem Finger, ſo iſt die Menge der gebundenen $+E$ in B, und der gebundenen $-E$ in A wieder größer und nahe das Vierfache der vori-

gen. So kann man fortfahren und dadurch die gebundene Elektricität der Condenſatorplatten nahe auf das 8-, 16-, 32fache u. ſ. w. ſteigern, wodurch ſich endlich bei dem Abheben von A an dem Elektroſkope der Unterplatte Zeichen freier Elektricität zu erkennen geben. (Ueber den Collector und Duplicator ſ. Gren's Journ. 1. 275. Gilb. Ann. 9. 124; 13. 208; 17. 414; 42. 376.)

Es iſt ſehr ſchwierig, ſelbſt einen guten Leiter von aller elektriſchen Ladung, die er beſitzt, zu befreien. Dieſe vervielfältigt ſich durch das erklärte Verfahren. Daher erfordert der Gebrauch des Duplicators Vorſicht, um nicht zu falſchen Reſultaten zu gelangen, und Elektricität finden zu wollen, wo keine vorhanden iſt.

Obgleich die Anziehungskraft des geriebenen Bernſteines bereits im Alterthume bekannt war, ſo ſtammt doch alle unſere Kenntniß der Elektricitätslehre nur aus den letzten zwei, ja eigentlich nur aus dem letzten Jahrhundert. Erſt um das Jahr 1600 ſtellte Gilbert einige Verſuche über das Elektriſchwerden anderer Körper an, und es vergingen, ungeachtet der Theilnahme von Otto Guerike, Newton, Hawksbee u. A. an dieſem Gegenſtande, mehr als hundert Jahre bis die Elektricitätslehre den Zuſtand der erſten Kindheit überſchritt. Im J. 1708 machte Well auf den elektriſchen Funken aufmerkſam; im J. 1729 wurde erſt der Unterſchied zwiſchen Iſolatoren und Leitern durch Gray, und bald darauf jener zwiſchen Glas- und Harzelektricität durch Dufay bekannt. Das Jahr 1745 zeichnet ſich durch die gleichzeitig von Kleiſt in Deutſchland und Cunäus und Muſſchenbröck in Holland gemachte Entdeckung der Erſcheinungen der verſtärkten Elektricität, d. i. der elektriſchen Flaſche aus; dieſer folgte auf dem Fuße die Enthüllung des Herganges der elektriſchen Vertheilung durch Canton, Franklin, Aepinus, Wilke. Im J. 1775 gab Volta den Elektrophor, 1783 den Condenſator. Die Einführung der Elektriſirmaſchine in den phyſikaliſchen Apparat verdankt man dem Leipziger Prof. Hauſen (1743); die Scheibenmaſchine hat man ſeit 1766, zu welcher Zeit ſie von Ramsden in London nach Ingenhouß Angabe zuerſt verfertiget wurde. Die Reibungselektricität, auch im Gegenſatze mit dem im folgenden Kapitel zu beſprechenden Galvanismus, die gemeine Elektricität genannt, wurde im Verlaufe dieſes Jahrhunderts nur wenig cultivirt; in unſeren Tagen aber haben Rieß und Faraday das Studium der Erſcheinungen der Elektriſirmaſchine und der elektriſchen Batterie wieder aufgenommen,

---

Drittes Kapitel.

Galvanismus, mit beſonderer Rückſicht auf die Geſetze des elektriſchen Stromes.

104. Im Vorhergehenden wurden vornehmlich die Phänomene der elektriſchen Spannung unterſucht; die Erſcheinungen des elektriſchen Stromes, welche ſich immer einfinden, wenn der Spannung durch leitende Subſtanzen ein Weg zur Ausgleichung offen ſteht, konnten aber nur in der ſpeciellen Form betrachtet werden, in der ſie uns die Elektriſirmaſchine und die elektriſche Batterie darbieten. So wie wir uns zum Behufe des Studiums der Spannung gerade jener Elek-

tricitätsquelle bedienten, welche ſich dazu am beſten eignet, ſo werden wir uns hier an die zur Enthüllung der Natur des elektriſchen Stromes paſſendſte Quelle wenden. Die Elektriſirmaſchine, beſonders in Verbindung mit der Batterie, verſchafft uns zwar einen energiſchen elektriſchen Strom, aber von nur ſehr kurzer Dauer, oder, falls die Elektriſirmaſchine in ununterbrochener Bewegung erhalten werden ſollte, doch nur von einer Beſchaffenheit, welche die wahre Natur dieſer Elektricitätsäußerung minder klar hervortreten läßt, daher auch dieſe in der That erſt dann beſſer erkannt wurde, nachdem die Wirkungen anderer Elektricitätsquellen entdeckt waren. Die Elektricitätsquelle, auf die wir jetzt die Aufmerkſamkeit lenken, iſt die von Volta auf Veranlaſſung einer Entdeckung Galvani's zuerſt erkannte, weßwegen die aus ihr entſpringende Elektricität auch die galvaniſche oder Volta'ſche Elektricität genannt wird; nach den Umſtänden ihres Entſtehens heißt ſie auch die Berührungselektricität. Bei Betrachtung der Wirkungen des durch ſie erzeugten Stromes wird ſich mehrfache Gelegenheit darbieten, auf den Strom der Elektriſirmaſchine und elektriſchen Batterie einen Rückblick zu thun, und die im vorhergehenden Kapitel darüber vorgetragenen Lehren zu ergänzen.

A. Fundamentalverſuche und Volta'ſche Kette.

105. Wenn zwei gute Leiter der Elektricität mit einander in Berührung kommen, ſo werden ſie dabei elektriſch, und zwar erhält der eine die poſitive, der andere die negative Elektricität. Man überzeugt ſich von der Richtigkeit dieſer Thatſache durch den ſogenannten Volta'ſchen Fundamentalverſuch, der auf folgende Arten angeſtellt werden kann: 1) Man nehme eine 1—3 Zoll im Durchmeſſer haltende, recht glatte Zink- und eine eben ſo große Kupferplatte, befeſtige jede derſelben an einem iſolirenden Handgriffe, faſſe beide Platten bei dieſem, bringe ſie mit einander in Berührung, trenne ſie hierauf und übertrage die Elektricität der einen oder der andern an einen Condenſator. Dieſes Verfahren wiederhole man mehrere Male mit der Vorſicht, diejenige Platte, welche nicht an den Condenſator gebracht wurde, ehe man ſie mit der andern in eine neue Berührung ſetzt, zuerſt auf den natürlichen Zuſtand zurückzuführen. Der Condenſator zeigt dann deutlich die Elektricität der Platte, und zwar erſcheint die Zinkplatte poſitiv und die Kupferplatte negativ elektriſch. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß, um ein reines Reſultat zu erhalten, die Condenſatorplatte aus demſelben Metalle beſtehen muß wie die Platte, deren Elektricität man an erſtere überträgt. 2) Man berühre die aus Kupfer beſtehende Collectorplatte eines condenſirenden Elektroſkops einmal mit einem nicht iſolirten Stücke Zink. Es könnte auch die Collectorplatte aus Zink beſtehen und mit einem Stücke Kupfer berührt werden. Jedenfalls zeigt ſich daſſelbe Reſultat wie oben. 3) Man bediene ſich einer Vorrichtung ganz ähnlich einem Condenſator mit Elektroſkop, nur daß die eine Platte von Kupfer, die andere von Zink iſt und der Firnißüberzug fehlt. Hebt man die Oberplatte von der Unterplatte ab,

gleichviel, ob erſtere iſolirt oder nicht iſolirt iſt; jedenfalls zeigt ſich die oben genannte Art der Elektricität.

Die Anſtellung dieſer Verſuche erfordert ein empfindliches Elektroſkop und einige Aufmerkſamkeit, weil es ſich hier um Nachweiſung einer ſchwachen elektriſchen Spannung handelt, deren Entſtehen man nach Gutbefinden erklären mag, die man aber nicht läugnen kann. Das ſpäter zu erwähnende Bohnenberger'ſche Elektroſkop eignet ſich ſehr gut zu genannten Verſuchen, da es gleich die Art der Elektricität anzeigt. Sehr leicht kann man auch die Verſuche mit dem Duplicator machen. Man überzeugt ſich leicht, daß die Elektricität der mit einander in Contact geſetzten Platten nicht durch Reibung, oder Druck, oder Einfluß der Temperatur ꝛc. (denn auch dieſe zwei letztern Umſtände ſind Elektricitätsquellen) entſtehe. Man kann die beiden Platten an einander löthen, und findet ſelbe nach beliebig langer Zeit, wenn man nach 2) verfährt, ſtets elektriſch. Zum Verſtändniß der Verſuche iſt noch die Bemerkung wichtig, daß die einander berührenden Platten condenſirend auf einander einwirken, wonach die Verſchiedenheit des Erfolges bei 1) und 2) und die Nothwendigkeit der öftern Wiederholung des Vorganges nach 1) begreiflich wird. Auch iſt es nöthig, den Einfluß der Berührung der Platten mit den Fingern oder mit den Körpern, worauf ſie früher lagen u. dgl. in Erwägung zu ziehen. Gute Bemerkungen über alles dieſes geben Fechner (Pogg. Ann. 41. 224) und Petrina (Zeitſchr. n. F. 5. 511; 6. 38). Aus der Thatſache der Berührungselekricität ergibt ſich auch eine wichtige Vorſichtsmaßregel für den Gebrauch des Condenſators ſelbſt, damit man nicht einen Körper an ſich für elektriſch halte, der erſt bei der Berührung die Condenſatorplatte dazu macht.

106. Nicht bloß Zink und Kupfer, ſondern alle Metalle nebſt andern feſten Körpern, ja ſehr viele tropfbare Flüſſigkeiten unter einander und mit feſten Körpern in Contact gebracht, zeigen ſich elektriſch; es iſt alſo die Berührung eine ſehr allgemeine Veranlaſſung zum Entſtehen des elektriſchen Zuſtandes. Wir nennen die Berührung hier abſichtlich eine Veranlaſſung der Elektricitätserregung, weil wir aus dem Fundamentalverſuche allein noch keinen Grund entnehmen können, in der Berührung als ſolchen die Urſache der Elektricitätserregung zu ſehen. In ſofern dieſe Urſache unbekannt iſt, mithin als eine Kraft betrachtet wird, darf man ihr immerhin mit Volta den Namen elektromotoriſche Kraft beilegen, und die ſich berührenden Körper Elektromotoren nennen.

107. Viele Phyſiker nehmen mit Volta an, und die Erfahrung hat bis jetzt dieſe Annahme nicht widerlegt, daß, wenn bei dem Contacte eines Körpers A mit einem andern B, der erſte, nämlich A ſich poſitiv, mithin der zweite B ſich negativ elektriſch zeigt; wenn ferner bei der Berührung von B mit einem dritten C, nun B die poſitive, C die negative Elektricität erhält, ſicher bei dem Contacte zwiſchen A und C, der erſtere poſitiv, der letztere negativ elektriſch werde. Dieſe Annahme zugegeben, laſſen ſich alle die Elektricität leitenden Körper in eine Reihe, Spannungsreihe genannt, zuſammenſtellen, in welcher ſie ſo auf einander folgen, daß ein vorhergehender mit jedem nachfolgenden durch Berührung poſitiv, mithin jeder folgende mit dem vorhergehenden negativ elektriſch erſcheint, und die

Menge der von einem Körperpaare erregten Elektricität bei übrigens gleichen Umſtänden deſto größer ausfällt, je weiter die dieſes Paar conſtituirenden Körper in dieſer Reihe von einander abſtehen. Demnach iſt derjenige, welcher dieſe Reihe beginnt, mit allen übrigen poſitiv; derjenige, welcher ſie ſchließt, mit allen übrigen negativ elektriſch, und dieſe zwei Körper geben durch gegenſeitige Berührung die meiſte Elektricität.

Volta's Verſuche mit dem Condenſator haben ihm folgende Spannungsreihe gegeben: Zink, Blei, Zinn, Eiſen, Kupfer, Silber, Reißblei, mehrere Kohlenarten, kryſt. Braunſtein. Pfaff hat auf demſelben Wege dieſe Reihe anſehnlich erweitert. Sie lautet: Zink, Blei, Kadmium, Zinn, Eiſen, Wismuth, Kobalt, Arſenik, Kupfer, Spießglanz, Platin, Gold, Queckſilber, Silber, Kohle, Glaserz, Schwefelkies, Kupferglanzerz, Kupferkies, Bleiglanz, Zinngraupen, Kupfernickel, Arſenikkies, Waſſerblei, Uranoxydul, Pecherz, Titanoxyd, Graphit, Wolfram, Schriſterz, kryſt. Graubraunſteinerz. Die kleinſte Aenderung der chemiſchen Natur oder ſelbſt der Oberfläche der Elektromotoren ändert den elektromotoriſchen Rang eines Körpers. Zwei ganz gleiche Zinkplatten geben keine Elektricität, wenn ſie ſich gegenſeitig berühren; wird aber eine davon mit einer Silberplatte auch nur einmal gerieben, oder läßt man ſie einige Zeit mit einer ſolchen in Berührung, ſo gibt ſie, mit der andern in Verbindung, — E.

Nach Munk af Roſenſchöld erregen ſelbſt ſchlecht leitende Körper Berührungselektricität. Einer derſelben, nämlich Bleiſuperoxyd, ſoll ſogar der ſtärkſte negative Elektromotor ſeyn. (Pogg. Ann. 35. 46.)

108. Volta's Scharfblick ſuchte noch tiefer in das Weſen der Erſcheinung einzudringen. Er ſtellte als Grundſatz auf, daß die elektriſche Spannung deſſelben in Berührung befindlichen Paares nicht von der Maſſe der Körper oder von der Menge ihrer Berührungspuncte, ſondern lediglich von ihrer materiellen Beſchaffenheit abhänge und zugleich vollkommen conſtant ſey, d. h. darin immer dieſelbe elektriſche Differenz herrſche, es mögen beide Körper iſolirt ſeyn oder einer derſelben mit der Erde in leitender Verbindung ſtehen. Erſcheint alſo einer der beiden Stoffe, wenn das Paar iſolirt iſt, mit der Spannung $+a$, der andere mit der Spannung $-a$, was die elektriſche Differenz $2a$ gibt, ſo muß, damit dieſe Differenz dieſelbe bleibe, in dem Falle, wo einer, z. B. der negative, wegen leitender Verbindung mit der Erde, in den natürlichen Zuſtand verſetzt wird, die Spannung des andern auf $2a$ erhöht werden. Wird dem Paare eine Quantität Elektricität mitgetheilt, die, abgeſehen von dem Contacte, jedem Stoffe die Spannung b beizubringen vermag, ſo erhält der eine Stoff die Spannung $b+a$, der andere $b-a$ und die Differenz iſt wieder $2a$.

Hieran knüpfte Volta noch die Behauptung, daß, wenn mehrere feſte Leiter unmittelbar mit einander in Berührung kommen, der Erfolg derſelbe ſey, als wenn nur der erſte und letzte Körper allein einander berührten, und überhaupt die Spannung zweier Körper, welche in der Spannungsreihe nicht unmittelbar auf einander folgen, der Summe der Spannungen aller in dieſer Reihe zwiſchen den betreffenden Körpern liegenden gleich ſeyn müſſe. Es fehlt zwar bis jetzt noch an einem directen Beweiſe der Richtigkeit dieſes letzteren Satzes; allein da er

etwas der Zuſammenſetzung der Kräfte Analoges ausſpricht, und in ſofern einige Wahrſcheinlichkeit für ſich hat; da er von den zahlreichen Anhängern Volta's als eine Art Glaubensartikel angenommen wurde, und bis jetzt noch keine gründliche Widerlegung erfahren hat; ſo mag er einſtweilen in dem Archive der Wiſſenſchaft niedergelegt bleiben. Ein Beiſpiel wird den Sinn des Satzes noch mehr erläutern. Es ſey, wie Volta annimmt, die elektriſche Differenz zwiſchen Zink und Blei = 5, zwiſchen Blei und Zinn = 1, zwiſchen Zinn und Eiſen = 3, zwiſchen Eiſen und Kupfer = 2 und zwiſchen Kupfer und Silber = 1; ſo muß die elektriſche Differenz zwiſchen Zink und Kupfer = 5 + 1 + 3 + 2 = 11, und jene zwiſchen Zink und Silber = 5 + 1 + 3 + 2 + 1 = 12 ſeyn.

109. An den Volta'ſchen Fundamentalverſuch ſchließt ſich ein anderer an, der uns einen nicht minder merkwürdigen, mit dem Contacte zweier Metalle in Beziehung ſtehenden Erfolg vor Augen ſtellt. Man tauche eine Zinkplatte in verdünnte Schwefelſäure. Sogleich tritt eine lebhafte Gasentwicklung ein, es entbindet ſich Waſſerſtoffgas und zugleich wird die Platte von der Säure, die das in Folge der Waſſerzerſetzung gebildete Zinkoxyd auflöſet, angegriffen. Hierin liegt nichts, was nicht den gewöhnlichen chemiſchen Geſetzen gemäß wäre. Nachdem die Platte einige Augenblicke in der Säure war, hebe man ſelbe heraus, und bringe etwas Queckſilber darauf; dieſes läßt ſich nun auf der Zinkplatte, der es begierig adhärirt, ſo vertheilen, daß dieſe ganz mit Queckſilber überzogen, d. h. amalgamirt erſcheint. Taucht man die ſo bekleidete Platte wieder in die Säure, ſo wird ſelbe ſelbſt nach langer Zeit nicht angegriffen, und es entwickelt ſich kein Waſſerſtoffgas. Der Queckſilberüberzug ſchützt alſo die Zinkplatte vor der Säure. Nun ſtelle man eine Kupferplatte der Zinkplatte gegenüber in die Flüſſigkeit. Dieß ändert an dem Zuſtande der Zinkplatte nichts, und auch die Kupferplatte wird nicht angegriffen. Sobald man aber die Kupferplatte mit der Zinkplatte in Berührung, oder auch nur mittelſt eines Drahtes in metalliſche Verbindung ſetzt, ſo erfolgt ſogleich eine lebhafte Entwicklung von Waſſerſtoffgas, und das Zink wird aufgelöſt: allein, und dieß iſt an dem Verſuche beſonders merkwürdig, das Waſſerſtoffgas erſcheint nicht wie früher an der Zinkplatte, ſondern die Gasblaſen ſteigen ſämmtlich von der Kupferplatte auf, die doch für ſich kein Waſſer zu zerlegen und alſo auch kein Waſſerſtoffgas zu entwickeln vermag. Unterbricht man den Metallcontact, ſo hört die Auflöſung des Zinkes und die Gasentwicklung augenblicklich auf, und beginnt nach Herſtellung des Metallcontactes wieder von Neuem.

110. Dieſer Verſuch läßt ſich mit einigen Abänderungen ausführen, die ſeine Weſenheit näher beleuchten. Man nimmt die Kupfer- und Zinkplatte von größeren Dimenſionen, z. B. jede von einem Quadratfuß Fläche und darüber. Am bequemſten iſt es, ſtatt der Kupferplatte ſich eines engen parallelepipediſchen Kaſtens von Kupfer (einer Kupferzelle) zu bedienen, in die man die Säure gießt und worin man die Zinkplatte einſenkt, jedoch ſo, daß ſie das Kupfer nirgends leitend berührt, was ſich mit Glas- oder ſelbſt mit Holzſtäben leicht bewerk-

ſtelligen läßt. An die Zinkplatte, wie auch an die Kupferplatte ſind kurze Stücke dicken Kupferdrahtes gelöthet, an welche Schraubenklemmen paſſen, in die man wieder andere Drähte als Fortſetzung einklemmen kann. Bringt man die Enden zweier ſolchen mit dem Zink und Kupfer verbundenen Drähte unter einander in Contact, und trennt ſie hierauf wieder, ſo ſieht man, zumal wenn es Kupfer- oder Meſſingdrähte mit amalgamirten Enden ſind, bei jeder Trennung einen kleinen hellen Funken. Läßt man von der Kupferzelle zur Zinkplatte eine Drahtverbindung gehen, in welche ein kurzes Stück feinen Platindrahtes als Beſtandtheil eingeſchaltet iſt, ſo geräth dieſes, ſo lang die Säure kräftig wirkt, d. h. ſo lange ſie noch nicht zu viel Zinkoxyd aufgenommen hat, bei jeder Herſtellung der metalliſchen Communication zwiſchen Zink und Kupfer in helles Glühen, das bis zum Schmelzpuncte des Platindrahtes gehen kann. Dieſer Verſuch gelingt ſogar mit Platten von ſehr kleinen Dimenſionen, wenn nur der Platindraht kurz und ſehr fein iſt, und die Flüſſigkeit kräftig wirkt. Bringt man die von dem Zink und Kupfer ausgehenden Drähte auf die Zunge, den einen über, den andern unter dieſelbe, ſo empfindet man einen heftigen Geſchmack, von dem an den Drähten einzeln genommen nichts zu bemerken iſt. Schneidet man einen Froſch am Unterleibe quer durch, zieht von den Schenkeln die Haut herab, legt die zu dieſen gehenden Nervenſtränge nächſt der Rückenwirbelſäule bloß, und berührt mit einem der beiden vom Zink und Kupfer kommenden Drähte einen Nerv, mit dem andern einen der entſprechenden Muskel am Schenkel, ſo geräth das Froſchpräparat in lebhafte krampfähnliche oder convulſiviſche Zuckungen, die ſogleich aufhören, ſobald man die Drähte von demſelben wegnimmt, und noch öfter wiederholt werden können, bis ſich endlich die Empfindlichkeit des Präparates verliert. Die beiden letzteren Wirkungen laſſen ſich auf eine viel einfachere Weiſe erhalten; die eine, wenn man die Zunge zwiſchen ein Stück Zink und ein Stück Kupfer gibt und die Metalle außerhalb des Mundes unter einander in Contact ſetzt; die andere, wenn man ein Stück Zink und Kupfer an einander hält und den Cruralnerv und den Schenkel des Froſchpräparates jeden für ſich mit einem der Metalle berührt. Vergleicht man dieſe Erſcheinungen mit den Aeußerungen von Elektricität, die an dem in Contact befindlichen Zink und Kupfer im Volta'ſchen Fundamentalverſuche wahrgenommen werden, ſo läßt ſich der Zuſammenhang beider Arten Phänomene nicht verkennen, und man wird ſogleich auf die Vermuthung geführt, daß auch hier Elektricität im Spiele ſey, jedoch nicht wie bei jenem Verſuche im ſtatiſchen oder Spannungszuſtande, ſondern (gleichwie bei einer unaufhörlich ſich ladenden und entladenden Leidnerflaſche) im dynamiſchen, d. h. im Zuſtande des Stromes. Die Richtigkeit dieſer Vermuthung findet in den Belegen, welche die Folge liefern wird, ihre vollſte Beſtätigung.

Die zuletzt erwähnten Erſcheinungen am Froſchpräparate haben zur Entdeckung der Elektricitätsquelle, von der hier die Rede iſt, Veranlaſſung gegeben. Alois Galvani, ein berühmter Arzt und Lehrer der Ana-

tomie zu Bologna, hatte im Jahre 1790 entdeckt, daß ein Froſch, dem die Haut abgezogen war, und der überhaupt gar kein Zeichen des Lebens mehr von ſich gab, in convulſiviſche Bewegungen gerieth, wenn er in eine elektriſche Atmoſphäre kam, während man dem elektriſchen Körper Funken entzog, und zugleich den Froſch mit einem Leiter der Elektricität berührte. Er wollte dieſem Einfluſſe der Elektricität weiter nachſpüren, und bereitete ſich zu dieſem Zwecke Fröſche, indem er ſie tödtete, ihnen die Haut abzog, und die Cruralnerven entblößte. Einſt hing er ſolche Fröſche mittelſt kupferner Haken an eine eiſerne Terraſſe auf, und fand, daß die Füße plötzlich zu zucken anfingen, wenn ſie das Eiſen berührten. Galvani widmete dieſer Erſcheinung eine beſondere Aufmerkſamkeit, und fand, daß man dieſe Zuckungen am leichteſten hervorbringen könne, wenn man Muskel und Nerv zugleich mit verſchiedenen Metallen berührt, die Metalle aber ſelbſt mittelſt eines guten Leiters der Elektricität in Verbindung ſetzt, daß ſie aber alſogleich ausbleiben, wenn man ſtatt der Metalle einen ſchlechten Leiter anwendet. Dieſes mit obiger Erfahrung zuſammen gehalten, brachte ihn auf die Meinung, daß durch gleichzeitiges Berühren der Muskeln und Nerven eine darin enthaltene Elektricität in Umlauf geſetzt werde, und daß dadurch eine Entladung erfolge. Volta wiederholte dieſelben Verſuche mit kritiſchem Blicke, und fand ſich durch die dabei Statt findenden Erſcheinungen veranlaßt, die Sache umzukehren, und anſtatt die Metalle als bloße Leiter und den animaliſchen Körper als Erreger der Elektricität anzuſehen, erſtere als Erreger der Elektricität und letzteren als bloßen Ableiter derſelben zu betrachten. Dazu vermochte ihn beſonders der Umſtand, daß die Zuckungen an einem Froſche ſehr ſchwach ausfallen, wenn er mit gleichartigen Metallen berührt wird, und daß ſich zwei iſolirte Metallplatten, wovon eine aus Zink, die andere aus Kupfer beſteht, während und nach ihrer Berührung mittelſt des Condenſators elektriſch zeigen. Einem Froſchſchenkel ähnlich verhalten ſich auch die Organe anderer jüngſt getödteten Thiere, zumal aus den niedern Claſſen; um ſo empfindlicher ſind ſie im lebenden Zuſtande. Legt man auf eine Zinkſcheibe ein Silberſtück und darauf einen Blutegel, ſo zeigt dieſer kein Unwohlſeyn, ſo lange er nur das Silber berührt; ſo wie er aber darüber hinaus auf das Zink kommt, prallt er wie vom Schmerz getroffen plötzlich zurück.

111. Die Zuſammenſtellung einer Kupferplatte, einer Zinkplatte und einer Säure, ſo wie ſie bei dem oben (109) beſchriebenen Verſuche Statt fand, wie auch jede andere dem Effecte nach äquivalente Zuſammenſtellung beliebig vieler, die Elektricität leitenden Subſtanzen nennt man im Allgemeinen eine Volta'ſche, ſehr häufig auch, wenn gleich minder gerecht, eine galvaniſche Kette. Enthält dieſe gerade nur ſo viele Beſtandtheile als zur Erzielung eines elektriſchen Stromes erforderlich ſind, was bei dem angeführten Verſuche der Fall war, ſo heißt die Kette eine einfache; beſteht aber die Kette aus mehreren in einander greifenden einfachen Ketten, ſo heißt ſie eine zuſammengeſetzte Kette oder auch eine Volta'ſche (ſehr unrichtig, aber doch dem herrſchenden Sprachgebrauche gemäß, eine galvaniſche) Säule oder Batterie. Die Art der Zuſammenſetzung der einzelnen Elemente zu einer Batterie iſt ſehr verſchieden, und ein Gleiches gilt auch von den Stoffen, welche man zu den Beſtandtheilen der Elemente wählt. Es kommt darauf an, welchen Effect man erzielen will, ob die Wir-

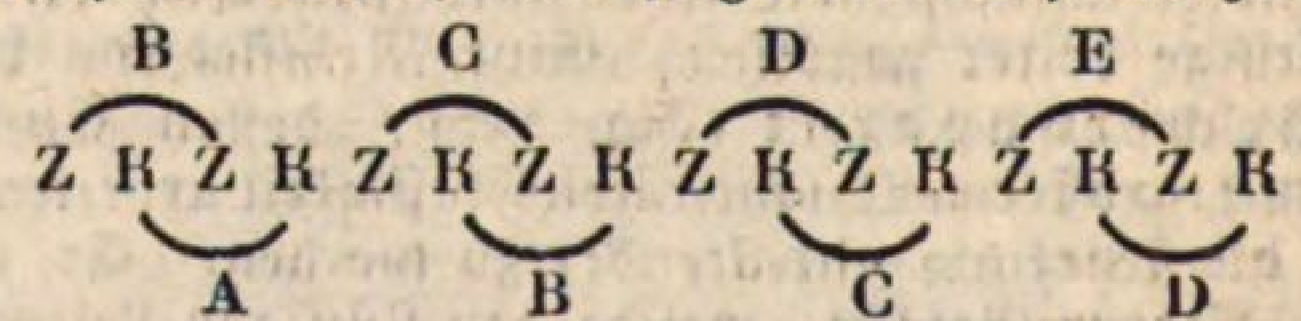
kung lange anhalten ſoll, oder ob man ſich mit einer raſch vorübergehenden Elektricitätsentwicklung begnügt; ob man eine größere Ausdehnung des Apparates zuläßt, oder ob man es vorzieht, zwar koſtſpieligere Materialien anzuwenden, aber dafür alles auf den möglichſt kleinſten Raum zuſammenzudrängen.

Die im Jahre 1800 bekannt gewordene und auch manchmal jetzt noch in Anwendung kommende Conſtruction der Volta'ſchen Säule iſt folgende: Man ordnet eine gewiſſe Anzahl, 25—100, ſelten mehr ebene, rein geſcheuerte, runde oder viereckige Kupferplatten (K) von 1—4 Zoll Durchmeſſer oder Seite, ſelten größer, eben ſo viele gleiche Zinkplatten (Z) und Pappſcheiben oder Tuchlappen (L), die man mit Kochſalz- oder auch mit Salmiaklöſung getränkt hat, auf einem Poſtamente zwiſchen drei Glas- oder Holzſtäben dergeſtalt, daß ſie eine Säule bilden (Fig. 225), in der die genannten Beſtandtheile in der Ordnung K Z L K Z L K Z L K Z ꝛc. auf einander folgen, wo alſo, wenn die unterſte Platte Kupfer iſt, die oberſte eine Zinkplatte iſt, oder umgekehrt. Oft iſt gleich jede Zinkplatte mit ihrer Kupferplatte zuſammengelöthet, letztere etwas größer und nach der vom Zink abgekehrten Seite zu einer Art Schale mit niedrigem Rande aufgebogen, in welchem Falle die Säule unten mit einer Zinkplatte anfängt und oben mit einer Kupferplatte endigt. Die Schale dient das Ablaufen der Flüſſigkeit aus den durch das Gewicht der Platten zuſammengepreßten Lappen zu verhindern. Bei einer Plattenzahl, die 25—50 überſteigt, zieht man es vor, daraus mehrere Säulen zu machen, dieſe neben einander zu ſtellen und das Zinkende der einen mit dem Kupferende der nächſt folgenden durch dicke Kupferdrähte zu verbinden. Man kann bei der oben angezeigten Anordnung auch die beiden äußerſten Platten weglaſſen, d. h. die Säule nach dem Schema Z L K Z L K Z L K ꝛc. aufſtellen. Ebene Platten (ohne aufgebogenen Rand) kann man auch zu einer liegenden Säule an einander ſchlichten, an deren Geſtelle ſich an einem Ende eine Schraube zum Preſſen der Säule befindet. War die Säule eine Zeit lang auf die ſpäter zu bezeichnende Weiſe im Gange, ſo iſt es nöthig dieſelbe aus einander zu nehmen und die Platten zu reinigen.

Um die Flüſſigkeit anwenden zu können, ohne ſie durch Papp- oder Tuchlappen aufſaugen zu laſſen, was dann beſonders in Betrachtung kommt, wenn man die Batterie mit einer ſtarken Säure laden will, welche die Lappen zerſtört, hat man die Trogapparate eingeführt. Ein ſolcher (Fig. 226) beſteht aus einem Kaſten von Holz, Steingut oder Porcellan mit Fugen zur Aufnahme der Platten, deren jede meiſtens aus zwei zuſammengelötheten einzelnen Platten von Kupfer und Zink, ſogenannten Doppelplatten, beſteht, und die ſo angeordnet werden, daß immer eine ihre Kupferſeite der Zinkſeite der folgenden zuwendet, wodurch ſchon erreicht wird, daß, wenn die erſte mit Kupfer anfängt, die letzte mit Zink aufhört. In die Zellen wird der flüſſige Leiter gegoſſen. Eine Modification des Trogapparates iſt der Becherapparat (Fig. 227), deſſen Einrichtung zum Zwecke hat, mit größeren Quantitäten Flüſſigkeit arbeiten zu können, und dadurch die Wirkung anhaltender zu machen. Er beſteht aus einer Anzahl gläſerner Gefäße, welche den flüſſigen Leiter enthalten, und aus eben ſo vielen Paaren Metallplatten, wovon immer eine Zink- mit einer Kupferplatte mittelſt eines Metallſtreifens verbunden iſt; dieſe werden in die Gefäße ſo eingehängt, daß in jedes derſelben immer eine Kupfer- und eine Zinkplatte zu ſtehen kommt. Graf Stadion nahm ſtatt der Zinkplatte eine bloße Zinkſtange, und ſtatt der Kupferplatte einen hohlen kupfernen Cylinder, jede Zinkſtange war mittelſt eines Bo-

gens an den folgenden Cylinder gelöthet. (Fig. 228.) Berzelius empfiehlt als den einfachſten Volta'ſchen Becherapparat jenen, wo jede Zinkplatte durch eine bloße Zinkkugel vertreten wird, in welche ein Kupferdraht eingelöthet iſt, der in einen Bogen gekrümmt, am anderen Ende etwas breitgeſchlagen wird, und ſogleich ſtatt der Kupferplatte dient. Man kann ſtatt gläſerner Gefäße auch ſchmale kupferne anwenden, ſie in einer Reihe neben einander ſtellen und die in jedes einzelne eingehängte Zinkplatte mit dem nächſt folgenden Gefäße verbinden. Zur Iſolirung der Zinkplatten wendet man Holzſtäbe an, welche man dieſen Platten ſo anfügt, daß ſie die Kupferzelle nirgends berühren. Die Kupferzellen bringen den Vortheil mit ſich, daß jede Zinkplatte von beiden Seiten mit Kupfer umgeben iſt; ähnliches leiſtet die Wollaſton'ſche Einrichtung des Trogapparates, wobei jede Kupferplatte doppelt ſo groß als die Zinkplatte, und um ſelbe herumgebogen iſt; jede Zinkplatte iſt von der ſie umgebenden Kupferplatte durch Holzkeile geſchieden und hängt mit der Kupferplatte des nächſt folgenden Elementes metalliſch zuſammen. Der Trog hat geſonderte Zellen, welche die Flüſſigkeit enthalten. Um alle Elemente dieſes oder des vorher erwähnten Apparates zugleich in die Zellen einſenken und wieder herausheben zu können, ſind ihre Verbindungsbögen an eine gefirnißte, hölzerne Leiſte befeſtigt (Fig. 229). Will man einzelne, beſonders große Elemente anwenden und doch dabei mit wenig Flüſſigkeit ausreichen; ſo wird zwiſchen die zwei Platten eines Elementes Sohlenleder oder auch Tuch gelegt und hierauf das Ganze ſpiralförmig zuſammengewunden, jedoch ohne daß ſich die zwei Platten irgendwo berühren. Man kann dieſelben auch durch zwiſchen gelegte Holzſtäbe getrennt halten. Statt große Platten anzuwenden kann man auch kleinere nehmen, indem man mehrere oder alle Zinkplatten unter ſich, und die Kupferplatten wieder unter ſich metalliſch verbindet. Dabei läßt man die Zinkplatten in der Reihenfolge mit den Kupferplatten abwechſeln, ſo daß nie zwei gleichnamige neben einander ſtehen. Hare nannte eine ſo vorgerichtete Batterie Deflagrator. Zur Ladung dieſer Apparate wird gewöhnlich verdünnte Schwefelſäure oder verdünnte Salpeterſäure, oder ein Gemenge aus beiden genommen. Hare empfahl zu ſeinem Deflagrator eine alkaliſche Lauge.

Nachdem die Einrichtung der Volta'ſchen Batterien über 30 Jahre lang ſtationär geblieben war, haben ſie in neueſter Zeit bedeutende Verbeſſerungen erlangt. Faraday's große Arbeit über die Elektricitätslehre gab hiezu den Impuls. Er zeigte, was auch Hare ſchon früher bemerkt hatte, daß es gar nicht nöthig ſey, die einzelnen Elemente der Säule in getrennte Zellen zu ſetzen, ſondern daß man ſelbe alle mit einander ohne merklichen Verluſt an Kraft auch in einen ununterbrochen mit Flüſſigkeit gefüllten Trog ſetzen könne. Die vortheilhafteſte Conſtruction der Säule in dieſer Form iſt die, welche ihr Young gegeben hat. Sie iſt aus folgendem Schema zu erſehen:



Eine Folge abwechſelnder Zink- und Kupferplatten wird in einem Holzrahmen befeſtiget. Je zwei Zinkplatten und eben ſo zwei Kupferplatten ſind unter einander metalliſch verbunden, ſo wie es die beigeſetzten Klammern anzeigen. Dieſe Paare ſtehen, jedes Zinkpaar mit dem nächſten Kupferpaare, welches auf das theilweiſe in das Zinkpaar eingeſchobene folgt, in metalliſcher Verbindung. In dem Schema ſind

die mit einander verbundenen ungleichnamigen Paare mit gleichen Buchſtaben bezeichnet. Es hängt alſo B mit B, C mit C zuſammen u. ſ. w. Auf der einen Seite bleibt ein Kupferpaar (A), auf der andern ein Zinkpaar (E) unverbunden. Die Platten müſſen einander möglichſt nahe ſtehen. Der Trog, in welchen man ſelbe zugleich einſenkt, wird mit einem Gemenge verdünnter Schwefel- und Salpeterſäure gefüllt (allenfalls auf 200 Thl. Waſſer $4^1/_2$ Schwefelſäure, 4 Salpeterſäure) oder mit einer concentrirten Löſung von Kupfervitriol.

Eine ſehr wichtige Verbeſſerung des Volta'ſchen Apparates, die wieder andere Fortſchritte zur Folge gehabt hat, iſt die von Daniell erdachte Anwendung zweier durch ein poröſes Diaphragma getrennten leitenden Flüſſigkeiten ſtatt einer Flüſſigkeit, wie ſie bisher üblich war. Es wird nämlich die Zinkplatte von der Kupferplatte durch einen Ueberzug von thieriſcher Blaſe oder durch ein Gefäß von gebranntem unglaſirten Thone, oder durch eine andere paſſende poröſe Scheidewand getrennt, der Raum, worin ſich die Zinkplatte befindet, mit verdünnter Schwefelſäure, jener aber, welcher die Kupferplatte enthält, mit Kupfervitriollöſung gefüllt. Man nennt eine ſo eingerichtete Batterie eine conſtante, weil ihre Wirkung eine bedeutende Zeit lang in derſelben Stärke fortwährt. Grove hat an die Stelle des Kupfers in der Daniell'ſchen Einrichtung Platin geſetzt und dieſes mit concentrirter Salpeterſäure umgeben, die durch ein poröſes Gefäß, worin beides ſich befindet, von der etwas verdünnten Schwefelſäure, die das Zink enthält, getrennt iſt. Eine Säule dieſer Art braucht nur aus wenigen Elementen von geringerer Größe zu beſtehen, und wirkt lange mit conſtanter Kraft. Pfaff empfiehlt ſtatt der Platinplatten Porcellancylinder mit einem darauf eingebrannten Platinüberzug. Cooper fand, daß in einer Säule nach Grove's Conſtruction ſtatt des theuren Platins mit geringem Verluſt an Effect Kohle genommen werden könne. Nach Poggendorff kann das Platin eben ſo durch Eiſen erſetzt werden, wenn man nur ſtatt der gewöhnlichen Salpeterſäure, concentrirte rauchende Säure nimmt, oder wenigſtens ein Gemenge dieſer mit der gewöhnlichen von ſolcher Concentration, daß das Eiſen dadurch nicht angegriffen wird. Weber und Wöhler haben kürzlich mit Eiſen, das einerſeits in concentrirte Salpeterſäure, andererſeits in verdünnte Schwefelſäure taucht, beide Flüſſigkeiten durch ein poröſes Thongefäß geſchieden, ſehr ſtarke Wirkungen erhalten, bei welcher Einrichtung alſo bloß ein Metall mit zwei Flüſſigkeiten die Kette bildet. Bunſen läßt in der Zink-Kohlen-Kette die Kohle zugleich die Rolle des poröſen Diaphragmas übernehmen, indem er aus der durch heftiges Glühen eines Gemenges Steinkohlen und Koaks entſtehenden feſten, jedoch poröſen Subſtanz dickwandige Gefäße bildet, die mit einem Gemenge von concentrirter Salpeterſäure und Sand gefüllt werden. Das Zink befindet ſich von verdünnter Schwefelſäure umgeben in einem Gefäße, worin erſteres ſteht. Wenige Elemente genügen zu ſehr kräftigen Wirkungen

Bezüglich aller dieſer Einrichtungen iſt noch zu bemerken, daß es vortheilhaft iſt, amalgamirtes Zink (109) anzuwenden.

112. Werden die beiden Enden, die ſogenannten Pole einer Volta'ſchen Säule, durch einen Leiter (Polardraht) mit einander in Verbindung geſetzt, ſo heißt die Säule geſchloſſen, widrigenfalls offen. Die offene Säule zeigt, wiewohl ſtets nur ſchwache Grade elektriſcher Spannung, die geſchloſſene gibt Effecte des elektriſchen Stromes. Die Spannung iſt nach der Stellung der Platte, woran

man ſie unterſucht, und nach dem Umſtande ob die offene Säule iſolirt iſt oder nicht, verſchieden. Geht man an der Säule nach der Richtung fort, in welcher Zink in unmittelbarem metalliſchen Contacte auf Kupfer folgt (oder das die Stelle des einen vertretende Metall auf das andere), ſo nimmt die Spannung algebraiſch geſprochen zu, d. h. die Differenz, welche aus der Subtraction der vorhergehenden von den folgenden, mit Rückſicht auf ihre Zeichen ſich ergibt, iſt poſitiv. Hat alſo die Säule die urſprüngliche Volta'ſche Anordnung KZLKZLKZLKZ und iſt ſelbe iſolirt, ſo beſitzt das Ende K, wo die Kupferplatte ſteht, der ſogenannte Kupferpol —E, und das andere Ende Z, der Zinkpol +E. Es iſt aber beſſer den erſteren Pol den negativen, den letzteren den poſitiven zu nennen; denn hat die Säule die Anordnung ZLKZLKZLK, ſo herrſcht in Uebereinſtimmung mit der obigen Regel an dem Pole, wo die Säule ſich mit einer Zinkplatte endigt, die negative, und an dem Ende, das man jetzt Kupferpol nennen ſollte, die poſitive Elektricität. Die Richtung, in welcher die Platten im Metallcontacte ſich ſuccediren, nicht die Qualität der Endplatten, beſtimmt die Natur der Pole. Im Inneren der iſolirten offenen Säule iſt die Spannung in der Mitte = 0, vorausgeſetzt, daß die Säule vollkommen ſymmetriſch gebaut iſt; ihre abſolute Größe wächſt gegen jeden Pol hin in arithmetiſcher Reihe, und ihr Zeichen ſtimmt mit jenem des betreffenden Poles überein. Iſt die Säule nicht iſolirt, nämlich ein Pol derſelben mit der Erde in leitender Verbindung, ſo ſteigt die Spannung des anderen auf das Doppelte, und dann zeigt die Säule nur die Elektricität des letzteren Poles. Das Maximum der Spannung tritt aber nicht immer augenblicklich, nachdem die Pole mit dem betreffenden Elektroſkope verbunden worden, ſondern oft erſt nach einiger Zeit ein, deren Dauer mit dem feuchten Leiter der Säule zuſammenhängt. Merkwürdig iſt es, daß die Spannung des einen Poles einer Säule, deſſen zweiter mit der Erde leitend verbunden iſt, von gleicher Größe befunden wird, der flüſſige Leiter mag wie immer beſchaffen ſeyn. Sind aber beide Pole iſolirt, ſo hängt die Elektricität derſelben vom flüſſigen Leiter ab.

113. Bringt man die äußere Belegung einer Leidnerflaſche von beliebiger Größe mit einem Pole, und die innere mit dem anderen in genaue Berührung; ſo wird dieſelbe ſchnell bis zu der Spannung geladen, welche dem Pole eigen iſt. Van Marum lud auf dieſe Art mit einer Säule von ganz kleinen Platten eine ungeheure Batterie augenblicklich zu einem Grade, wozu er ſonſt mehrere Umdrehungen ſeiner Rieſenmaſchine gebraucht hätte. Dieß gibt für die Einerleiheit der Elektricität der Säule mit jener der Maſchine einen ſchlagenden Beweis.

114. Werden die Pole einer thätigen Volta'ſchen Säule hinter einander durch verſchiedene Körper verbunden und jedesmal die Spannung an den Polen unterſucht, ſo gelangt man zu ſehr intereſſanten Phänomenen: Einige Körper, wie z. B. die Metalle, heben die Spannung beider Pole vollkommen auf, und ſind demnach im Stande,

ihre Elektricität vollkommen abzuleiten. Man nennt ſie darum auch vollkommene Leiter; andere ſchwächen die Spannung gar nicht, und können darum, in Bezug auf die vorhandene Elektricität, als Nichtleiter angeſehen werden. Von der Art iſt Glas, Seide, Harz ꝛc. Es gibt Körper, die im ſtarren Zuſtande Nichtleiter, im tropfbaren hingegen Leiter ſind, wie z. B. Waſſer, Bleioxyd, Kali, Kaliumchlorid, Schwefelantimon, Borax. Bei Queckſilberjodid findet aber das Gegentheil Statt. Wieder andere ſchwächen die beiden Pole der Säule nur, ohne ſie ganz aufzuheben, theilen ſich aber ſelbſt in zwei, mit elektriſcher Spannung begabte Hälften, und zwar erhält die mit dem + Pol verbundene Hälfte + E, die mit dem — Pol verbundene — E. Solche Körper behalten dieſen ihren elektriſchen Zuſtand noch lange Zeit, wenn ſie auch ſchon von der Säule getrennt worden ſind. Man nennt ſie zweipolige unvollkommene Leiter. Von der Art iſt naſſes Papier, eine Säule aus immer abwechſelnden Lagen von Metallplatten und feuchten Leitern. Eine ſolche Säule nennt man Ladungsſäule oder ſecundäre Säule, wohl auch Ritter'ſche Säule. (Gilb. Ann. 19. 488.) Einer ſolchen Säule ähnlich iſt ein etwa eine halbe Linie dicker Silberdraht, deſſen beide Enden man abwechſelnd, eines mit dem poſitiven, das andere mit dem negativen Pole einer ſtarken Säule in Verbindung gebracht und dieſes etwa eine Stunde lang fortgeſetzt hat. Da erſcheint mittelſt eines guten Condenſators jedes Drahtende mit einer elektriſchen Spannung, und zwar das eine mit poſitiver, das andere mit negativer Elektricität (Zeitſchr. 9. 241. Pogg. Ann. 44. 44). Endlich gibt es auch Körper, welche, als Polardraht gebraucht, nur die Elektricität eines Poles ableiten, die des anderen aber unverändert laſſen. Man nennt ſie einpolige Leiter, und zwar poſitiv oder negativ einpolige, je nachdem ſie die Elektricität des poſitiven oder negativen Poles wegnehmen. Zur erſteren Claſſe gehört die Flamme des Alkohols, des Wachſes, Oehles, des Waſſerſtoffgaſes; zur letzteren die trockene Seife, Bleiweiß, Phosphorflamme. Uebrigens bedarf dieſer Gegenſtand noch einer weiteren Unterſuchung, weil er vielleicht mit materiellen Veränderungen des Leiters in Verbindung ſteht. (Erman in Gilb. Ann. 22. 14. Ohm in Schweigg. J. 59. 385.)

115. Bei der Volta'ſchen Säule kommt wenigſtens eine Flüſſigkeit als Zwiſchenkörper vor; man kann aber auch aus lauter feſten Leitern eine Säule bauen, die daher mit Recht den Namen einer trockenen Säule führt. Die berühmteſten Säulen dieſer Art ſind die vom Zamboni. (Gilb. Ann. 49, 35, 47, 183; 51. 182; 55. 472.) Sie beſtehen aus Gold- und Silberpapier, wohl auch aus bloßem Silber- oder Goldpapier, das auf der Papierſeite mit Manganoxyd eingerieben iſt. Bringt man einige Tauſend ſolcher Platten in gehöriger Ordnung in eine gläſerne Röhre, verſieht ſie oben mit einem leitenden Knopfe, ſo wirkt ſie nicht bloß auf ein Elektroſkop kräftig ein, ſondern wenn man zwei ſolche Röhren nahe an einander ſtellt, ſo daß in einer die Goldſeite, in der anderen die Silberſeite des Papieres aufwärts ge-

kehrt iſt, ſo kann ein zwiſchen ſie geſtelltes, zartes, iſolirtes Pendel abwechſelnd angezogen und abgeſtoßen werden, mit einer Kraft, die man ſo weit verſtärken kann, daß ſie ein Uhrwerk in Bewegung ſetzt. Fig. 230 ſtellt dieſe Säulen vor. Die Wirkſamkeit einer ſolchen Säule iſt aber keineswegs von der Art, daß dadurch einer Uhr eine gleichförmige Bewegung ertheilt werden könnte, ſondern ſie nimmt ab, wenn die Luftfeuchtigkeit wächſt, wird ſtärker, wenn die Temperatur ſteigt, und zwar faſt im geraden Verhältniſſe mit der Temperaturveränderung, wenn dieſelbe langſam eintritt (Zeitſchr. 7. 360). Durch die Feuchtigkeit des Papieres wird ihre Kraft geſteigert, aber nach Jäger's Erfahrungen (Gilb. Ann. 62. 227) zeigt ſich ſelbſt eine Säule aus möglichſt getrocknetem Papiere noch wirkſam. Watkins (Pogg. Ann. 14. 380) hat eine trockene Säule aus einem einzigen Metalle gebaut. Er wählt dazu Zinkplatten, die er auf einer Fläche polirt, auf der anderen rauh läßt und ſie in einen Trog ſo einſetzt, daß alle polirten Flächen nach derſelben Seite hinſehen und zwiſchen je zwei Platten eine etwa 1/4 Linie dicke Luftſchichte bleibt. Hier vertreten die zwei verſchiedenen Flächen die zwei Metalle, und die zwiſchen zwei Metallplatten befindliche (feuchte) Luftſchichte das Papier.

Trockene Säulen hat Behrens aus Flintenſteinen, die einerſeits mit Zink, andererſeits mit Kupfer überzogen waren; Deluc aus Goldpapier und verzinntem Eiſenbleche; Biot aus Zink, Kupfer und Salpeterſcheiben; Jäger aus Zink, Kupfer, Firniß und Harz oder Seide; Ritter aus Zink, Kupfer und trockenem Schafleder; Kämtz aus vielen organiſchen Stoffen, wie z. B. aus Zucker und Hefen, Wachs und Leinöhl, Gummi und Salep ꝛc. conſtruirt. (Schweigg. J. 56. 1.)

116. Hängt man ein ſchmales Goldblättchen zwiſchen zwei kleine zamboniſche Säulen, deren Pole eine entgegengeſetzte Lage haben, ſo erhält man das ſeiner Empfindlichkeit wegen beſonders zu empfehlende Bohnenberger'ſche Elektroſkop. Da ſich hier das Goldblättchen zwiſchen zwei Körpern befindet, deren einer fortwährend + E, der andere — E beſitzt, ſo wird es in ſeinem natürlichen Zuſtande nach beiden Seiten gleich ſtark gezogen und bleibt daher in Ruhe. So wie es aber eine geringe elektriſche Spannung, z. B. von + E empfängt, ſo wird es gegen den einen Pol (— E) hingezogen und zugleich von dem andern (+ E) abgeſtoßen, was eine doppelte Kraftäußerung gibt. Aus der Richtung der Bewegung des Goldblattes kann man daher ſogleich ohne weitere Probe die Art der ihm mitgetheilten Elektricität erkennen. Man kann auch mit einer einzigen Säule ausreichen, wenn man von den beiden Polen derſelben Spangen ausgehen läßt, zwiſchen welchen das Goldblatt hängt, wie Bequerel zuerſt gethan hat. (Bohnenberger in Tübinger Blätter 1. 380, oder Schweigg. J. 25. 159; Bequerel in Zeitſchr. n. F. 1. 188).

117. Zamboni hat noch eine andere Säule conſtruirt, welche ein bemerkenswerthes Beiſpiel von Erregung elektriſcher Spannung bei dem Contacte eines feſten und eines tropfbaren Körpers liefert. Sie wird die zweielementige Säule genannt. Man erhält ſie, wenn

man mehrere Zinnplättchen ſo ſchneidet, daß jedes in eine feine Spitze auslauft, ſie in mit Waſſer gefüllte Uhrgläſer ſo ſtellt, daß jedes Plättchen auf zwei neben einander ſtehenden Gläſern gleichſam reitet, und immer in ein Glas von einem ſolchen Plättchen die Spitze, von einem anderen der breitere Theil zu ſtehen kommt. Da bemerkt man an den äußerſten Plättchen eine elektriſche Spannung, die mehrere Tage anhält, ohne daß eine Veränderung an den Zinnplättchen wahrzunehmen wäre. Das Stielende des Zinnes hat in der Regel —E, das andere +E. (Gilb. Ann. 60. 151.) Wenn ſich die elektriſche Spannung verloren hat, welches meiſtens nach ein Paar Tagen geſchieht, ſo kann man ſie durch Zuſatz von etwas Kochſalz wieder erwecken.

118. Bei weitem wichtiger als die Spannungseffecte ſind die Wirkungen des elektriſchen Stromes, der ſich einſtellt, wenn eine Volta'ſche Batterie, oder auch nur ein einzelnes Element, durch einen Elektricitätsleiter geſchloſſen wird, der keinen Grund zu einer entgegengeſetzten Action in ſich trägt, wie es der Fall iſt, wenn beide Pole durch einen Draht verbunden ſind, der entweder in einem Zuge fortläuft, oder höchſtens nur durch Flüſſigkeiten, gegen die er ſich paſſiv verhält, unterbrochen iſt. Da die Urſache der Elektricitätserregung in der Volta'ſchen Kette ununterbrochen wirkt, ſo iſt der Strom derſelben ein continuirlicher. Die Analogie mit dem Vorgange bei Entladung einer Leidnerflaſche führt zu der Annahme, daß in der geſchloſſenen Volta'ſchen Kette eigentlich zwei entgegengeſetzte Ströme circuliren; zur Erleichterung der Unterſuchung und zur Vermeidung von Irrungen werden wir jedoch, der ſchon früher gemachten Beſtimmung und dem allgemein herrſchenden Sprachgebrauche getreu, die Aufmerkſamkeit nur auf einen und zwar auf denjenigen richten, welchen wir als den poſitiven Strom zu betrachten haben, nämlich auf den von dem poſitiven Pole der Kette durch den Schließungsleiter zum negativen Pole gehenden, der demnach in der Säule ſelbſt von dem negativen Pole zum poſitiven fortgepflanzt wird.

Dieſe Beſtimmung der Richtung des Stromes iſt dem Spannungsphänomen der Kette entnommen, in ſo fern nämlich der Strom als das Product der continuirlichen Ausgleichung immer fort ſich zu erneuern ſtrebender Spannungszuſtände angeſehen wird. Längſt ſchon haben Anhänger der dualiſtiſchen Hypotheſe ſich dieſen Hergang ſo gedacht, daß jedes Theilchen des Leiters, in welchem der Strom beſteht, von einem Nachbartheilchen durch Vertheilung elektriſirt werde, von dieſem +E empfange, und dafür ſein eigenes +E auf gleiche Weiſe an ein nächſt folgendes Theilchen abgebe. Die Richtung, nach welcher dieſe Wanderung des +E erfolgt, iſt jene des Stromes. Sonach iſt das Abfließen der Elektricität eines Körpers das Reſultat einer immer weiter ſchreitenden Zerlegung und Zuſammenſetzung, mithin die Fortpflanzung einer Bewegung, wobei das Bewegte die Lage ſeines Gleichgewichtes nur ſehr wenig verläßt. Es bedarf keiner Erinnerung, daß dieſe Vorſtellungsart ſich an Faraday's Anſicht ſehr gut anſchließt. Wollte man jede Hypotheſe vermeiden, ſo müßte man von dem in (109) angegebenen Phänomen als Fundamentalfactum ausgehen, und dabei

das Wort »Strom« nur als Bezeichnung eines gewiſſen, in der Erfahrung ſich durch eigene Kennzeichen kund gebenden Zuſtandes eines Leiters betrachten, der ſich nach verſchiedenen Seiten hin verſchieden äußert, mithin die Vorſtellung der Richtung einſchließt. Man würde ſich aber hiedurch den Weg zur Auffindung der wichtigſten Geſetze gewaltig erſchweren.

119. Die Wirkungen des Stromes einer Volta'ſchen Batterie ſind keine anderen, als die eines einzelnen Elementes, und unterſcheiden ſich von letzteren, ſo wie von den Wirkungen des Stromes jeder anderen Elektricitätsquelle, nur dem Grade nach. Einige derſelben, nämlich die Einwirkung auf unſer Gefühl (phyſiologiſche Wirkungen), die Glühphänomene und ein Eingreifen in die chemiſchen Verhältniſſe der Körper ſind bereits an der einfachen Kette angedeutet worden; außer dieſen kommen aber noch andere, nämlich die Wirkungen der Ströme aufeinander ſelbſt und ihr Verhalten zum Magnetismus in Erwägung. Den Schlüſſel zum Verſtändniß der bei dieſen Effecten ſich zeigenden quantitativen Beziehungen enthält eine theoretiſche Betrachtung der Intenſität des elektriſchen Stromes im Allgemeinen, welche daher vorangehen muß.

120. Obgleich das Weſen des elektriſchen Stromes unbekannt iſt, ſo können wir ihn doch als Reſultat einer Action anſehen, die nicht nach allen Richtungen ſich mit gleicher Stärke äußert, denn bei einer allſeitig gleichen Action müßte nothwendig Gleichgewicht Statt finden, die Vorſtellung der Bewegung fiele daher weg. Wir wollen uns hier bloß auf die Betrachtung des elektriſchen Stromes in einem linearen Leiter beſchränken, und ſetzen ſonach den Grund des Stromes in das Uebergewicht der Action nach der einen Seite über jene nach der entgegengeſetzten. Dieſes Uebergewicht kann daher rühren, daß die Qualität der Elektricität, welche im Zuſtande des Gleichgewichtes als Spannung auftreten würde (für die wir dieſe Benennung beibehalten), während des Stromes in verſchiedenen Puncten des Leiters eine verſchiedene Größe hat. Dieß vorausgeſetzt faſſen wir an einem gleichmäßig dicken Leitungsdrahte, in dem ein elektriſcher Strom vorhanden iſt, irgend ein Stück, deſſen Länge $= l$ ſey, in das Auge. Die elektriſche Spannung ſey am Anfangspuncte dieſes Stückes $= s$ und am Endpuncte, nach der Richtung des Stromes hingeſehen $= s'$, mithin $s > s'$. Der elektriſche Strom wird ſeine Exiſtenz durch irgend einen Effect kund geben; läßt ſich dieſer Effect auf ein Maß zurückführen, ſo kann dieſes als Maß des Stromes ſelbſt dienen. Unter dieſer Annahme ſey die Intenſität des Stromes $= p$. Offenbar wird p unter übrigens gleichen Umſtänden von dem Betrage der Differenz $s - s'$ abhängen. Die einfachſte Vorausſetzung, die ſich über dieſe Abhängigkeit machen läßt, iſt den Werth von p jenem von $s - s'$ proportional zu ſetzen. Allein die Länge des Stückes l, an deſſen Endpuncten dieſer Unterſchied der Spannungen herrſcht, iſt bei der Beurtheilung der Stromſtärke nicht gleichgiltig; der Strom wird für energiſcher gelten, wenn dieſelbe Differenz ſchon an einer kleineren Länge ſich vorfindet.

Die einfachſte Vorausſetzung bezüglich der Abhängigkeit der Stromſtärke von der Länge des gewählten Stückes iſt den Werth von p, bei gleichem Werthe von $s - s'$ der Länge l verkehrt proportionirt anzunehmen. Nicht minder natürlich iſt die Vorausſetzung, daß bei gleichen Werthen von $s' - s$ und l der Effect p um ſo größer ſeyn werde, je größer der Querſchnitt q des Drahtes iſt. Endlich wird es noch auf die materielle Beſchaffenheit des Leiters ankommen. Wir wollen daher, alles Andere gleich geſetzt, die Größe p mit einer Qualität, die wir den Leitungswiderſtand nennen und mit k bezeichnen, in verkehrtem Verhältniſſe ſtehend denken. Alles dieſes angenommen ergibt ſich uns die Gleichung $p = \frac{(s - s')\,q}{k\,l}$, oder wenn der Kürze wegen $\frac{k\,l}{q} = \lambda$ geſetzt wird, $p = \frac{s - s'}{\lambda}$. Die Größe λ, nämlich das Product des Leitungswiderſtandes mit der Länge irgend eines Stückes des cylindriſchen Leiters dividirt durch die Querſchnittsfläche desſelben, heißt die reducirte Länge dieſes Stückes. Daher iſt die Stromſtärke gleich der Differenz der Spannungen an den Enden des Leiters, dividirt durch deſſen reducirte Länge.

121. Es circulire ein elektriſcher Strom in einem in ſich ſelbſt zurückkehrenden Leiter, der aus mehreren heterogenen Theilen beſteht. Dieſer Leiter ſey beiſpielsweiſe ABC (Fig. 231). An der Stelle A, wo zwei verſchiedene Stücke an einander grenzen, ſey die elektriſche Spannung in dem erſten $= a$, in dem zweiten $= b$; an der Stelle B ſeyen in derſelben Ordnung die Spannungen a', b' und an der Stelle C die Spannungen a'', b'' vorhanden. Die reducirten Längen der Stücke AB, BC, CA ſeyen λ, λ', λ''. Aus dem Begriffe eines Stromes folgt, daß er an allen Orten einerlei Stärke beſitze, daher beſtehen für die Ströme in den Stücken AB, BC, CA die Gleichungen:

$$p = \frac{b - a'}{\lambda},\quad p = \frac{b' - a''}{\lambda'},\quad p = \frac{b'' - a}{\lambda''}.$$

Aus dieſen folgt $p\lambda = b - a'$, $p\lambda' = b' - a''$, $p\lambda'' = b'' - a$. Addirt man dieſe Gleichungen, ſo wird

$$p(\lambda + \lambda' + \lambda'') = b - a' + b' - a'' + b'' - a = b - a + b' - a' + b'' - a''.$$

Die Differenz der Spannungen an einer Stelle, wie $b - a$ in A, kann man die dieſer Stelle entſprechende elektromotoriſche Kraft nennen; ſetzen wir nun $b - a = e$, $b' - a' = e'$, $b'' - a'' = e''$, ſo erhalten wir $p(\lambda + \lambda' + \lambda'') = e + e' + e''$, und hieraus

$$p = \frac{e + e' + e''}{\lambda + \lambda' + \lambda''}.$$

Was hier für drei Stücke gefunden wurde, gilt offenbar für jede andere Anzahl von Stücken. Daher die Regel: die Intenſität des Stromes in einer elektriſchen Kette iſt gleich der Summe der elektromotoriſchen Kräfte, welche in der Kette thätig ſind, dividirt durch die Summe der reducirten Längen der Beſtandtheile der Kette. Bezeichnet man die Summe der elektromotoriſchen Kräfte durch E, die Summe

der reducirten Längen durch L, ſo iſt die Formel für die Stromſtärke:

$$p = \frac{E}{L}.$$

122. Ein in ſich ſelbſt zurückkehrender Leiter ABC (Fig. 232) theile ſich an einer Stelle in zwei Arme ADB, AEB, die gleichſam eine Inſel bilden, ſo wird ein elektriſcher Strom, der in dem Leiter circulirt, an der Stelle, wo der Leiter getheilt iſt, ſich gleichfalls ſpalten. Es ſey die Intenſität des Stromes in dem ungetheilten Stücke des Leiters $= p$, in dem Stücke ADB $= p'$ und in AEB $= p''$, ſo iſt offenbar $p = p' + p''$. Die reducirte Länge des Stückes ADB ſey $= \lambda'$, des Stückes AEB $= \lambda''$. Man kann dem Stücke ADB ein äquivalentes, d. h. dieſelbe reducirte Länge beſitzendes, von beliebiger wirklicher Länge l und von beliebigem Leitungswiderſtand k ſubſtituiren, wenn nur der Querſchnitt q' der Gleichung $\frac{kl}{q'} = \lambda'$ Genüge leiſtet (119), d. h. $q' = \frac{kl}{\lambda'}$ iſt. Eben ſo kann man dem Stücke AEB ein äquivalentes von der Länge l und dem Leitungswiderſtande k ſubſtituiren, wenn der Querſchnitt dieſes Stückes $q'' = \frac{kl}{\lambda''}$ iſt. Da nun dieſe neuen Stücke dieſelbe materielle Beſchaffenheit und dieſelbe Länge haben, nur verſchiedene Querſchnitte, ſo denke man ſich dieſelben in ein Stück vom Querſchnitte $q' + q''$ vereinigt, und nenne deſſen reducirte Länge λ, ſo muß $q' + q'' = \frac{kl}{\lambda}$ ſeyn. Mit Rückſicht auf die Werthe von q' und q'' wird ſonach $\frac{kl}{\lambda} = \frac{kl}{\lambda'} + \frac{kl}{\lambda''}$ d. h. $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda'} + \frac{1}{\lambda''}$. Offenbar wird jedes der neuen Stücke, eben weil ſie einerlei materielle Beſchaffenheit und einerlei Länge haben, einen ſeinem Querſchnitte proportionirten Theil des Stromes p leiten, ſie mögen nun vereinigt oder getrennt ſeyn; daher beſtehen die Proportionen: $p' : p = q' : q' + q''$ und $p'' : p = q'' : q' + q''$, aus welchen $p' = p \cdot \frac{\lambda}{\lambda'}$ und $p'' = p \cdot \frac{\lambda}{\lambda''}$ folgt. Hiernach kann man, wenn p, λ' und λ'' gegeben ſind, vorerſt λ und dann p' und p'' berechnen. Dieſelben Betrachtungen finden bei einer Veräſtelung des Leiters in mehr als zwei Theile Anwendung.

Die Richtigkeit der Vorausſetzungen, auf welche ſich dieſe Formeln gründen, findet ihre Beſtätigung in der Uebereinſtimmung der daraus fließenden Folgerungen mit der Erfahrung. Der Inbegriff dieſer Formeln, einer der wichtigſten Funde neuerer Zeit in der Elektricitätslehre, wird nach ſeinem Entdecker das Ohm'ſche Geſetz genannt. (Die galvaniſche Kette, mathematiſch bearbeitet von Dr. G. S. Ohm, Berlin 1827.)

Man kann eine Größe wie $\frac{1}{\lambda}$ die Leitungsfähigkeit des betreffenden Stückes nennen; die Gleichung $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda'} + \frac{1}{\lambda''}$ ſagt daher aus, daß zwei

Aeſte eines Leiters einem einzelnen Leiter gleich gelten, deſſen Leitungsfähigkeit der Summe der Leitungsfähigkeiten der Theile gleich iſt.

123. Es ſey nun ein Volta'ſches Element vorhanden, welchem die elektromotoriſche Kraft e und die reducirte Länge λ entſpreche. Dieſes ſey durch einen Leiter geſchloſſen, der die reducirte Länge l habe; ſo iſt die Intenſität des Stromes $p = \frac{e}{\lambda + l}$. Man denke ſich jetzt eine Kette von n ſolchen Elementen durch denſelben Leiter geſchloſſen, und nenne die Statt findende Intenſität des Stromes p', ſo wird $p' = \frac{ne}{n\lambda + l}$. Endlich denke man ſich ein einziges Element, das nmal ſo groß iſt als das oben genannte, ebenfalls durch denſelben Leiter geſchloſſen, ſo wird die Intenſität des Stromes in demſelben

$$p'' = \frac{e}{\frac{\lambda}{n} + l} = \frac{ne}{\lambda + nl}.$$

In der letzteren Formel mußte $\frac{\lambda}{n}$ an die Stelle von λ kommen, weil nach 120 die reducirte Länge im verkehrten Verhältniſſe mit der Querſchnittsfläche des Leiters ſteht.

124. Hier ſind nun zwei extreme Fälle zu betrachten, jene nämlich, wenn der Leitungswiderſtand im Schließungsleiter im Vergleiche mit dem in der Kette entweder ſehr gering, oder wenn er ſehr groß iſt.

1) Iſt der genannte Leitungswiderſtand ſehr gering, ſo kann man die reducirte Länge l gegen λ vernachläßigen; dann iſt $p = \frac{e}{\lambda}$, $p' = \frac{ne}{n\lambda} = \frac{e}{\lambda}$ und $p'' = \frac{ne}{\lambda}$, mithin $p' = p$ und $p'' = np$. In dieſem Falle wirkt alſo eine Batterie nicht kräftiger als ein einzelnes Element von gleicher Fläche; aber ein Element von größerer Fläche um ſo kräftiger, je größer es iſt.

2) Iſt der Leitungswiderſtand im Schließungsdrahte und mit ihm die reducirte Länge im Vergleiche gegen den Widerſtand in der Kette ſehr groß, ſo kann man λ gegen l vernachläßigen; dann hat man $p = \frac{e}{l}$, $p' = \frac{ne}{l}$, $p'' = \frac{ne}{nl} = \frac{e}{l}$ folglich $p' = np$, $p'' = p$. In dieſem Falle wirkt alſo eine Batterie im Verhältniß der Anzahl ihrer Elemente kräftiger; ein Element von großer Fläche, aber nicht merklich kräftiger, als ein kleineres.

Da die reducirten Längen der Leiter die Widerſtände darſtellen, die ſie als ſolche dem elektriſchen Strome entgegenſetzen, ſo erklärt ſich aus dieſen Formeln auch der Sinn der Rede, ein Strom, der bereits einen bedeutenden Widerſtand überwunden hat, ſey beſſer geeignet noch einen Widerſtand zu überwinden, als ein ſolcher, dem kein merkliches Hinderniß im Wege war. Denn iſt L groß, ſo wird die Größe $p = \frac{E}{L}$ im Verhältniß zum Ganzen nicht viel geändert, wenn zu L noch ein Zuſatz hinzutritt; wohl aber wird die Aenderung beträchtlich, wenn L gering iſt.

125. Nennt man die Querſchnittsfläche einer Kette, oder die Oberfläche einer Zink- oder Kupferplatte einer gewöhnlichen Säule q, ſo kann man λ nach 120 unter der Form $\frac{h}{q}$ darſtellen, wobei h eine von der materiellen Beſchaffenheit der Beſtandtheile der Kette abhängende Größe anzeigt. Es ſey f die Geſammtoberfläche der Beſtandtheile, n wie oben deren Anzahl, ſo iſt $f = nq$, alſo

$$\lambda = \frac{h}{q} = \frac{nh}{nq} = \frac{nh}{f}.$$

Hiedurch wird die Stromſtärke in der Kette, unter Beibehaltung der in 123 gebrauchten Bedeutungen der Buchſtaben e und l, mittelſt der Formel $p' = \frac{ne}{\frac{n^2h}{f}+l} = \frac{nfe}{n^2h+fl}$ ausgedrückt. Darnach läßt ſich leicht beurtheilen, wie viel Elemente man einer Kette geben muß, um mit einer vorgeſchriebenen Geſammtoberfläche bei derſelben Schließungsweiſe den größten Effect herbeizuführen. Zu dieſem Ende ſchreiben wir obige Formel ſo: $p' = \frac{fe}{nh+\frac{fl}{n}}$. Dieſer Ausdruck wird, da n auf ſeinen Zähler keinen Einfluß hat, am größten, wenn man n ſo wählt, daß der Nenner $nh + \frac{fl}{n}$ am kleinſten ausfällt. Geben wir der Zahl n irgend einen Werth, und ändern wir hernach dieſen Werth um n', ſo daß $n + n'$ an die Stelle von n kommt, wobei n' poſitiv oder negativ iſt, je nachdem eine Vergrößerung oder Verkleinerung von n vor ſich geht, ſo wird der Werth dieſes Nenners nunmehr $(n+n')h + \frac{fl}{n+n'}$. Hat man für n die Annahme getroffen, in Bezug auf welche $nh + \frac{fl}{n}$ am kleinſten wird, ſo muß $(n+n')h + \frac{fl}{n+n'}$ jedenfalls größer ſeyn als dieſer kleinſte Werth, folglich, wenn man den vorhergehenden Ausdruck von dem folgenden abzieht, eine poſitive Differenz erſcheinen. Nun iſt

$$(n+n')h + \frac{fl}{n+n'} - nh - \frac{fl}{n} = n'h - \frac{fln'}{n(n+n')} = n'\left(h - \frac{fl}{n^2+nn'}\right).$$

Wenn man daher n ſo wählt, daß $h = \frac{fl}{n^2}$ wird, ſo erhält $h - \frac{fl}{n^2+nn'}$ das Zeichen + wenn n' poſitiv, und das Zeichen — wenn n' negativ iſt, folglich das Product $n'\left(h - \frac{fl}{n^2+nn'}\right)$ gewiß das Zeichen +. Es iſt alſo, um den Maximumwerth der Stromſtärke p' zu erhalten, $n^2 = \frac{fl}{h}$, d. h. $n = \sqrt{\frac{fl}{h}}$ zu nehmen. Die ſo eben gefundene Bedingung des Maximums gibt die Gleichung $\frac{n^2h}{f} = l$. Aber $\frac{n^2h}{f}$ oder

$n\lambda$ ſtellt die reducirte Länge der ganzen Kette oder Batterie, oder was daſſelbe heißt, den Geſammtwiderſtand derſelben vor. Es leiſtet alſo eine Volta'ſche Batterie von vorgeſchriebener Geſammtfläche der Platten am meiſten, wenn der Widerſtand der Batterie genau dem Widerſtande gleich kommt, den der Strom im Schließungsleiter zu überwinden hat. Der Maximumwerth von p' ſelbſt ergibt ſich durch Subſtitution des Werthes $n = \sqrt{\frac{fl}{\lambda}}$ in $p' = \frac{nfe}{n^2 h + fl}$. Man erhält ſonach für das Maximum der Stromſtärke unter den gegebenen Umſtänden den Ausdruck $\frac{e}{2}\sqrt{\frac{f}{lh}}$. (Jacobi in Pogg. Ann. 50. 512.)

126. Dieſe Folgerungen aus dem Ohm'ſchen Geſetze finden bei der Betrachtung der phyſiologiſchen und thermiſchen Effecte der Volta-ſchen Kette eine lichtvolle Anwendung. Berührt man mit den Fingern, die man durch Benetzen der Haut mit einer Kochſalzlöſung leitend gemacht hat, die Pole einer Volta'ſchen Säule, ſo empfindet man einen Schlag, dem einer geladenen Leidnerflaſche einigermaßen ähnlich, der mit kleinen Unterbrechungen anhält und auch, jedoch mit ſehr merklicher Schwächung, durch mehrere Perſonen, die ſich mit feuchten Händen faſſen, geleitet werden kann. Es zeigt ſich kein beſonderer Unterſchied in der Stärke des Stoßes, wenn man größere Platten an die Stelle kleinerer ſetzt, aber mit der Anzahl der Platten nimmt die Stärke des Stoßes zu. Es ſetzt nämlich der menſchliche Körper dem Strome der Säule einen bedeutenden Widerſtand entgegen; die reducirte Länge des menſchlichen Körpers als Elektricitätsleiter gedacht iſt gegen jene der Säule ſehr groß, daher gilt für den Stromeffect p' im Vergleich mit jenem eines einzelnen Elementes die Gleichung $p' = np$, und es zeigt ſich $p'' = p$ (124).

Um ſich von dem, was hier reducirte Länge des menſchlichen Körpers heißt, einen klaren Begriff zu machen, denke man ſich eine Volta'ſche Säule in Thätigkeit, und nehme an, man habe ein Mittel die Stromſtärke zu meſſen. (Solche Mittel werden in der Folge wirklich angegeben.) Nun ſchalte man den menſchlichen Körper in den Schließungsleiter ein, ſo daß er gleichſam als ein Theil deſſelben zu betrachten iſt. Der frühere Effect der Säule wird jetzt nicht mehr obwalten, ſondern an die Stelle deſſelben ein viel kleinerer treten. Nun ſchalte man in den Schließungsleiter ſtatt des menſchlichen Körpers einen Kupferdraht ein. Je mehr man die Länge dieſes Drahtes vergrößert, deſto mehr wird dem Effecte der Säule entzogen, und man kommt zuletzt auf eine Drahtlänge, die den Effect eben ſo weit herabſetzt, wie vordem der menſchliche Körper. Betrachtet man den Leitungswiderſtand des Kupfers und den Querſchnitt dieſes Drahtes als Einheiten für die gleichnamigen Größen, ſo iſt die Länge l des zuletzt angewandten Drahtes die reducirte Länge des menſchlichen Körpers (120). Nun ſchalte man die Beſtandtheile eines der Elemente, aus welchen man eine Batterie conſtruiren will, in den Schließungskreis ein, beobachte die Verminderung des Effectes und ſuche die Länge λ des äquivalenten Kupferdrahtes. Dieſe mit der Anzahl n der Elemente multiplicirt, gibt die reducirte Länge der zu conſtruirenden Batterie. Es wird ſich zeigen, daß λ gegen l, ja auch noch $n\lambda$ gegen l gering iſt.

Um einen merklichen Schlag zu erhalten, iſt eine Säule von 10—12 Elementen nöthig; mit 50—100 Elementen wird der Schlag ſchon bedeutend ſtark, er erregt krampfhafte Zuckungen in den Fingern und Armen, und iſt an wunden Stellen der Hände beſonders ſchmerzlich. Unerträglich wird die Empfindung ſelbſt bei einer geringen Anzahl Elemente, wenn, während man Metallcylinder (Conductoren), von welchen Drähte zu den Polen der Säule gehen, mit naſſen Händen faßt, die Kette ſehr raſch hinter einander geöffnet und wieder geſchloſſen wird. Man kann ſich hiezu einer eigenen Vorrichtung (Unterbrecher), aus einem gezähnten Rade beſtehend, das mit einem der in den Händen befindlichen Conductoren in leitender Verbindung iſt, und in ein zum betreffenden Pole gehendes Metallſtück ſtoßweiſe eingreift, oder auch des Neef'ſchen Blitzrades bedienen (Pogg. Ann. 36. 352.) Bringt man, während man einen Conductor in der Hand hält, den anderen an die Stirne, ſo gewahrt man einen Lichtſchein. Auf der Zunge erzeugt der poſitive Pol einen ſauren, der negative einen alkaliniſchen Geſchmack. Derlei Erſcheinungen ſtellen ſich ſchon bei Anwendung ſchwacher galvaniſcher Kräfte ein. Die in (110) erwähnten Verſuche am lebloſen thieriſchen Körper laſſen ſich mit einer Batterie im Großen anſtellen. Man hat öftere Male ſolche Verſuche an hingerichteten Verbrechern gemacht und merkwürdige Erſcheinungen hervorgebracht. Aldini bewirkte durch eine Volta'ſche Säule an einem ſolchen Leichname eine heftige Bewegung der Füße, die Augen öffneten ſich und ſchloſſen ſich wieder, Mund, Backen und das ganze Geſicht verzerrte ſich heftig. Ure brachte gar an einer ſolchen Leiche den Athmungsproceß wieder in Gang, doch hörte derſelbe mit dem elektriſchen Strome wieder auf. Ein erſt getödtetes Schaf kann durch den elektriſchen Strom in convulſiviſche Bewegungen verſetzt werden, die den Anfällen von Epilepſie gleichen. Eine ausgeriſſene Krebsſchere, durch die dieſer Strom geht, zwickt heftig zuſammen; eine an einen Tiſch angenagelte Ochſenzunge zieht ſich, wenn man den Strom durch ſie leitet, ſo ſtark zuſammen, daß ſie den Nagel auszieht. Auch Vegetabilien ſind für den elektriſchen Strom empfindlich. Guilo hat mittelſt einer Säule von 50 Elementen an Mimosa pudica, mimosa sensitiva und asperata Bewegungen hervorgebracht. Starke Ströme desorganiſiren die Pflanzen. Die trockenen Säulen bringen auch bei großer Plattenzahl keine merklichen phyſiologiſchen Wirkungen hervor.

127. Die Licht- und Wärmeeffecte der Volta'ſchen Batterie werden als ſolche erſt in den folgenden Abſchnitten dieſes Buches betrachtet; hier kann nur von den auf die Elektricität ſich beziehenden Bedingungen dazu die Rede ſeyn. Die Kraft einer Volta'ſchen Säule, Metalldrahte glühend zu machen und zu verbrennen, richtet ſich mehr nach der Größe als nach der Anzahl der Plattenpaare. Hier iſt nämlich kein gegen jenen der Säule namhafter Widerſtand zu überwinden, und es kommt vor allem auf die Elektricitätsmenge an, die durch den Draht geleitet wird. Daher die erſtaunenswerthen Erſcheinungen der Säulen mit großen Platten, zumal wenn ſelbe die neuere Daniell'ſche oder Grove'ſche Einrichtung haben, oder die deren Stelle vertretende von Wöhler und Weber oder Bunſen (111) Ein glänzendes Lichtphänomen liefert Kohle, in den Schließungskreis gebracht.

Ihrer Glühphänomene willen hat ſich die von Children conſtruirte Säule einen großen Ruf erworben. Sie beſtand aus 20 Doppelplatten von 6 Fuß Länge und 2⅔ Fuß Breite. Auf den menſchlichen Kör-

per äußerte ſie keine größere Wirkung als eine Säule von eben ſo vielen kleinen Platten; allein ſie machte einen Platindraht von $^1/_{20}$ Zoll Dicke und 18 Zoll Länge, der als Polardraht gebraucht ward, ſo hell glühend, daß man den Lichtglanz kaum ertragen konnte, und ſchmelzte ihn endlich gar. Die Wärmeerregung war überhaupt ſo groß, daß man damit Metalle ſchmelzen konnte, welche im Ofenfeuer völlig unſchmelzbar ſind, wie z. B. Iridium. Eine Volta'ſche Säule kann aber nur einen Draht von beſtimmter Dicke glühend machen; je dicker dieſer Draht iſt, deſto ſtärker muß der elektriſche Strom ſeyn, um ein Erglühen deſſelben zu bewirken. Auch die Natur des Drahtes hat darauf großen Einfluß. Ein Strom, der einen Silberdraht ohne Erhitzung deſſelben durchſtrömt, bringt einen Draht zum Glühen, der aus abwechſelnden Silber- und Platinſtücken beſteht. Die Funken einer Volta'ſchen Säule ſind immer nur ſehr kurz, weil auch die elektriſche Spannung einer ſolchen im Vergleiche mit jener einer Maſchine nur ſehr gering iſt. Es gibt zwar ſchon ein kleines Element einen Funken; dieſer wird bei übrigens gleichen Umſtänden deſto ſtärker, je mehr ſolche Elemente zu einer Batterie zuſammengeſetzt werden; aber ſelbſt die große Batterie der Royal-Inſtitution, die aus 2000 Doppelplatten von 32 Q. Zoll Oberfläche beſtand, gab dem berühmten Davy nur $^1/_{30}$ Zoll lange Funken, und erſt als man die Luft zwiſchen den Enden der Polardrähte ſtark verdünnt hatte, wuchs ihre Länge auf 4 Zoll. Mittelſt eines ſehr langen (am beſten ſpiralförmig zuſammengewundenen) Polardrahtes erhält man die ſtärkſten Funken (Nobili in Pogg. Ann. 27. 436). Wurde im genannten Apparate der Royal-Inſtitution eine Kohle von 1 Zoll Länge und $^1/_6$ Zoll Dicke in die Kette gebracht, und die Polardrähte auf $^1/_3$ Zoll genähert; ſo begann mehr als die Hälfte davon ſchnell zu glühen, und man konnte hierauf, begünſtigt durch den geringeren Widerſtand der durch Hitze verdünnten Luft, die Enden zweier ſolchen Kohlen 4 Zoll weit von einander entfernen, ohne die Entladung durch die Luft zu unterbrechen, ja es bildete ſich da ein ungemein glänzender, nach oben gekrümmter Lichtbogen, der jede Subſtanz, welche man dazwiſchen brachte, ſchmolz, und ſelbſt Quarz, Saphir, Kalk verflüchtigte. Vergleicht man mit den Wirkungen der vorerwähnten koloſſalen Säulen die Leiſtungen der Grove'ſchen und anderen neueren Ketten, ſo wird man die großen Fortſchritte, welche die Conſtruction des wundervollen Volta'ſchen Apparates gemacht hat, nicht verkennen. Eine einzige Zinkplatte 3 Z. hoch, 4 Z. breit, mit einer entſprechenden Kohlenzelle nach Bunſen's Anordnung combinirt, gibt lebhafte Funken, erhält einen 1 Z. langen Platindraht von der Dicke eines Pferdehaares conſtant im Glühen, und macht ſelbſt feine Kohlenſpitzen glühend. Sechs Elemente von dieſer Größe machen 5 Z. lange, ziemlich dicke Platindrähte conſtant glühend, und erzeugen zwiſchen Kohlenſpitzen einen Flammenbogen, deſſen Glanz das Auge kaum ertragen kann.

B. Elektromagnetismus und elektrodynamiſche Anziehung und Abſtoßung.

128. Im Jahre 1820 machte Oerſted eine der folgenreichſten Entdeckungen der neueren Phyſik bekannt. Dieſer Gelehrte fand, daß der Volta'ſche Strom eine Magnetnadel auf eine eigenthümliche Weiſe afficire. Führt man nämlich den Schließungsdraht eines kräftigen Elementes an der um eine fixe Axe beweglichen Nadel vorüber, ſo erfolgt, den einzigen Fall ausgenommen, wenn der Schließungsdraht

in der Ebene liegt, in welcher die Nadel bei ihrer Bewegung zu bleiben gezwungen iſt, eine Ablenkung der Nadel aus ihrer Ruhelage, und zwar wird, nach Ampère's kurzem und umfaſſenden Ausdrucke des Phänomens, der Nordpol der Nadel gegen die linke Hand einer menſchlichen Figur abgelenkt, die man ſich, ihr Geſicht gegen die Magnetnadel gekehrt, in den Strom ſo gelegt vorſtellt, daß er von ihren Füßen zum Kopfe geht. Dabei ſtrebt die Nadel, ſo weit es der Erdmagnetismus geſtattet, eine gegen die Richtung des Stromes ſenkrechte Lage anzunehmen. Dieſe Wirkung wird nicht gehemmt, wenn ſich zwiſchen dem Schließungsdrahte und der Magnetnadel gute oder ſchlechte Elektricitätsleiter befinden. Nadeln aus unmagnetiſchen Metallen erfahren vom elektriſchen Strome keine Einwirkung der Art.

Folgende durch Verſuche leicht zu beſtätigende Erfahrungen beweiſen die Richtigkeit des obigen allgemeinen Ablenkungsgeſetzes. 1) Iſt der elektriſche Strom, von Süd nach Nord gehend, mit der Axe einer horizontal ſchwebenden Magnetnadel parallel, und letztere mit erſterem in einerlei Verticalebene; ſo wird die Abweichung der Magnetnadel, nicht aber ihre Neigung geändert, und zwar wird der Nordpol nach Weſt abgelenkt, wenn der elektriſche Strom über der Nadel vorbeigeht, hingegen nach Oſt, wenn er ſich unter der Nadel befindet. 2) Hat der elektriſche Strom dieſelbe Richtung und ſteht die Magnetnadel in gleicher Höhe mit ihm; ſo wird ihre Neigung, nicht aber ihre Abweichung geändert, und zwar wird der Nordpol herabgezogen, wenn der elektriſche Strom an der Weſtſeite des Magnetes, vorbeigeht, hingegen erhöht, wenn er ſich an ſeiner Oſtſeite befindet. 3) Geht der elektriſche Strom von Nord nach Süd, ſo erfolgen alle dieſe Ablenkungen nach entgegengeſetzter Richtung. 4) Geht der elektriſche Strom vertical aufwärts, und nähert man ihm das Nordende einer Declinationsnadel, ſo wird dieſes nach Oſten abgelenkt; fährt man in der Annäherung fort, ſo geht die Ablenkung in die entgegengeſetzte über. Hiebei iſt wohl darauf zu achten, daß ſich obige allgemeine Regel nicht auf das Nordende, ſondern auf den Nordpol der Nadel bezieht, welcher der Drehungsaxe etwas näher liegt, als dieſes Ende. Iſt der Strom abwärts gerichtet, oder iſt der genäherte Pol der Südpol, ſo erfolgt das Entgegengeſetzte. Aehnliches gilt, wenn ſich eine vertical hängende Magnetnadel in der Nähe eines horizontalen Schließungsdrahtes einer galvaniſchen Kette befindet. 5) Eine aſtatiſche Nadel (20) wird von dem elektriſchen Strome ſo geſtellt, daß ihre magnetiſche Axe mit der Stromrichtung einen rechten Winkel bildet. Iſt eine nicht aſtatiſche kleine Declinationsnadel dem im magnetiſchen Meridian befindlichen horizontalen Strome nahe und dieſer ſehr kräftig, ſo zeigt ſich auch hier ſchon die rechtwinklige Stellung der Nadel gegen den Strom. 6) Geht der horizontale Strom ſenkrecht gegen den magnetiſchen Meridian, ſo ſteht eine Declinationsnadel über oder unter ihm in ihrer gewöhnlichen Ruhelage im Gleichgewichte, aber nur dann in ſtabilem, wenn der Nordpol im oben erklärten Sinne links gegen die Stromrichtung liegt. 7) Macht der elektriſche Strom mit dem magnetiſchen Meridian einen ſpitzigen Winkel, ſo erfolgt die Ablenkung wie vorhin, nur ſchwächer. Man kann ſich vorſtellen, als ließe ſich dieſer Strom in zwei andere Ströme zerlegen, wovon einer im magnetiſchen Meridian liegt und auf die Magnetnadel nach den früheren Angaben wirkt, während der zweite auf dem magnetiſchen Meridian ſenkrecht ſteht und keine Wirkung auf ſie äußert.

129. Die Kraft, mit welcher der elektriſche Strom bei dieſen und ähnlichen Verſuchen auf die Magnetnadel wirkt, zeigt ſich augenſcheinlich um ſo ſchwächer, je weiter die Nadel von dem Schließungsleiter der Volta'ſchen Kette entfernt iſt. Hier bietet ſich ſogleich die Frage dar, nach welchem Geſetze dieſe Kraft abnehme. Dieſes iſt zuerſt von Biot aus Schwingungsverſuchen, und von Schmidt aus Verſuchen über die Gleichgewichtslagen einer aſtatiſchen Magnetnadel beſtimmt worden. Es zeigte ſich, daß die Kraft, welche ein langer gerader Schließungsdraht auf einen Magnetpol ausübt, dem Abſtande dieſes Poles von dem Drahte umgekehrt proportionirt ſey; übrigens iſt die Richtung der Kraft, wie ſchon aus den oben beſchriebenen Verſuchen hervorgeht, ſenkrecht gegen die Ebene, welche den Draht und den Magnetpol enthält. Erlaubt man ſich, obgleich ein einzelnes Theilchen eines elektriſchen Stromes für ſich nicht exiſtiren kann, dennoch die Annahme, daß die von dem Schließungsdrahte ausgehende Kraft das Reſultat des Zuſammenwirkens der Elementarkräfte ſey, welche allen einzelnen Stromtheilchen zukommen, ſo wird man durch den Calcul auf die Folgerung geführt, daß jedes Stromtheilchen auf einen Magnetpol, oder überhaupt auf jedes magnetiſche Elementartheilchen eine dem Quadrate der Diſtanz beider verkehrt proportionirte Kraft ausübe, wobei jedoch der von allem, was man bisher über die Wirkungsweiſe der Elementarkräfte kannte, abweichende Fall vorkommt, daß dieſe Kraft nicht längs der Verbindungslinie des elektriſchen Theilchens mit dem magnetiſchen, ſondern ſenkrecht dagegen wirkt, insbeſondere ſenkrecht gegen die Ebene, welche durch das (als unendlich kleine Linie betrachtete) Stromtheilchen und das magnetiſche Theilchen beſtimmt wird, überdieß aber noch mit der Richtung des Stromtheilchens in dieſer Ebene ſich ändert, und zwar im geraden Verhältniſſe mit dem Sinus des Winkels ſteht, den die Richtung des Stromtheilchens mit der zu dem magnetiſchen Theilchen gehenden Geraden macht.

130. Wir haben bis jetzt die Beziehung der Action eines elektriſchen Stromes zu ſeiner Intenſität noch außer Acht gelaſſen; offenbar iſt es naturgemäß vorauszuſetzen, daß der Vereinigung zweier, dreier ꝛc. identiſchen elektriſchen Ströme die doppelte, dreifache ꝛc. Kraft zukomme, wie dieß der Fall iſt, wenn man 2, 3, ꝛc. gleiche Leitungsdrähte, in denen gleiche Ströme fließen, dicht neben einander ſtellt. Hier zeigt ſich nun nicht bloß die Anwendbarkeit der Magnetnadel zur Beurtheilung der Kraft eines Volta'ſchen Stromes, ſondern auch die Richtigkeit des Ohm'ſchen Geſetzes. Entladet man ein Volta'ſches Element durch einen kurzen dicken Kupferdraht, der alſo dem Strome keinen merklichen Widerſtand entgegen ſetzt, ſo wird die Ablenkung einer Magnetnadel nicht geändert, wenn man mehrere eben ſolche Elemente zu einer Batterie verbindet; wohl aber ſteigt die Kraft ſogleich auf das Zweifache, Dreifache ꝛc., wenn man ein Element von zweifacher, dreifacher ꝛc. wirkenden Fläche, bei übrigens gleicher Ladung anwendet.

131. Der Umſtand, daß ſich die ablenkende Kraft eines elektriſchen Stromes nach der Intenſität der ſtrömenden Elektricität richtet,

erlaubt, dieſe Kraft zum Meſſen jener Intenſität zu benützen. Nimmt man ſtatt eines gewöhnlichen Leitungsdrahtes zum Schließen einer Kette einen gleichförmig dicken, breiten Metallſtreifen von einer Länge, welche ſeine Breite wenigſtens fünfmal übertrifft, und läßt über und nahe an demſelben eine Magnetnadel ſpielen, deren Länge nicht über ein Viertel der Streifenbreite beträgt; ſo wirkt ein in dieſem Streifen fließender Strom auf die Nadel bei jeder Stellung derſelben gleich ein, weil er auch den ganzen Streifen der ganzen Breite nach gleichmäßig durchſtrömt. Iſt P die magnetiſche Kraft der Nadel, T jene der Erde, p die Kraft des wirkſamen Stromes, endlich α der Ablenkungswinkel der Nadel; ſo gibt P T *sin* α die Richtkraft der Nadel, p P *cos* α die ablenkende Kraft des Stromes an, und man hat:

$$pP \cos\alpha = PT \sin\alpha, \text{ oder } p = T \operatorname{tang} \alpha.$$

Es kann wohl auch ein gewöhnlicher Draht ſtatt des Streifens angewendet werden, aber dann iſt die Formel, welche die Relation zwiſchen dem Ablenkungswinkel und der Stromſtärke angibt, complicirter, und nähert ſich erſterer nur unter der Vorausſetzung, daß die Länge der Magnetnadel ſehr klein ſey. Leichter gelangt man zum Ziele, wenn man, wie Ohm zuerſt gethan hat, die Magnetnadel an einem elaſtiſchen Metall- oder Glasfaden über dem Polardraht ſchweben, den elektriſchen Strom darauf wirken läßt, und dann durch Torſion des Fadens die Nadel in den magnetiſchen Meridian zurückführt; da iſt die Torſion der ablenkenden Kraft proportionirt. Endlich kann man auch eine Magnetnadel über dem Polardrahte in einer gegen ihn ſenkrechten Lage oſcilliren laſſen, und aus der in einer beſtimmten Zeit vollbrachten Anzahl der Schwingungen unter dem Einfluſſe des Erdmagnetismus allein, und dann des Stromes und des Erdmagnetismus zugleich, nach der in 28 angegebenen Methode auf die Stromkraft ſchließen.

132. Aus den in 128 angegebenen Geſetzen folgt, daß wenn ein Leitungsdraht über einer Declinationsnadel weggeht, dann ſich abwärts biegt und in entgegengeſetztem Sinne unter derſelben fortgeführt wird, ſowohl der obere, als auch der untere Theil eines durch den Draht geleiteten Stromes die Nadel nach derſelben Seite hin abzulenken ſucht, mithin ſo eine Verſtärkung der Wirkung erfolgt. Dieſe Verſtärkung läßt ſich bedeutend erhöhen, wenn man den Draht in einem Zuge viele Windungen um die Magnetnadel machen läßt, wobei man, um den elektriſchen Strom zu nöthigen, die ganze Drahtlänge zu durchlaufen, die einzelnen Windungen durch eine iſolirende Bekleidung des Drahtes, z. B. durch Ueberſpinnen mit Seide hindert, einander metalliſch zu berühren. Auf dieſe Weiſe erhält man den Multiplicator oder das Galvanometer (Fig. 233), ein von Schweigger und gleichzeitig von Poggendorff erdachtes und ſeitdem nach Verſchiedenheit des Bedürfniſſes von den Phyſikern in mannigfaltiger Form vielfältig gebrauchtes Inſtrument, deſſen Magnetnadel ſchon durch ſchwache Ströme in merkliche Ablenkung verſetzt wird, welches alſo, indem man von der Annahme ausgeht, daß, wenn eine ſolche Ablenkung eintritt, ein elektriſcher Strom vorhanden ſey, zur Wahrnehmung nicht

bloß der Exiſtenz, ſondern auch der Richtung der ſtrömenden Elektricität dient, nebſtdem aber auch ihre Stärke zu meſſen geſtattet. Das Galvanometer leiſtet daher für die ſtrömende Elektricität dasſelbe, was ein Elektroſkop für die Elektricität im Spannungszuſtande thut. Nicht alle genannten Zwecke laſſen ſich mit demſelben Inſtrumente und in allen Fällen erreichen. Der Hauptzweck, den man vor Augen hat und der entweder bloß qualitative, oder zugleich quantitative Beſtimmung des Stromes iſt, gibt in Betreff der Länge, Dicke, des Materiales des Drahtes, der Anordnung der Windungen, der Wahl der Magnetnadel, die bald einfach, bald aſtatiſch genommen wird, ihrer Aufhängung, und bei der übrigen Einrichtung des Apparates den Ausſchlag.

Für Ströme, die bei ihrem Entſtehen einen nur geringen Leitungswiderſtand überwunden haben, daher eine große Drahtlänge nicht vertragen, dient Fechner's Galvanometer, aus einem breiten Kupferbleche beſtehend, das in die durch Fig. 234 dargeſtellte Form a gebogen iſt, zwiſchen deſſen Schenkeln ſich eine Magnetnadel befindet, die mit einer zweiten außerhalb des obern Blechſchenkels angebrachten zu einem aſtatiſchen Syſteme verbunden iſt. Das Kupferblech kann auch (für manche Zwecke, z. B. für Schwingungsverſuche ſogar mit Vortheil, wegen des aus ſpäter anzugebenden Gründen die Bewegung der Nadel hemmenden Einfluſſes des Kupferbleches) durch einen Kupferſtreifen erſetzt werden, der einige neben einander liegende Windungen bildet. Ein äußerſt empfindliches Galvanometer erhält man nach Nobili, wenn man den Draht zu zwei ovalen Ringen, deren einer unter dem andern ſteht, in entgegengeſetzten Richtungen windet und in die Oeffnungen der Ovale zwei aſtatiſch verbundene Magnetnadeln hängt (Fig. 235). Marianini windet den Draht fächerförmig (Fig. 236), damit die Nadel, wenn ſie unter einer Windung vorbeigegangen iſt, ſogleich unter eine andere komme. Man kann den Galvanometerdraht auch doppelt nehmen, ſo daß zwei von einander getrennte Gewinde vorhanden ſind, deren Theile neben einander liegen, mithin auf die Nadeln ganz gleich wirken. Hier kann man nach Gefallen entweder eine, oder beide Drahtlagen hinter einander, von demſelben Strome durchlaufen laſſen, oder zwei verſchiedene Ströme in übereinſtimmenden oder entgegengeſetzten Richtungen durch die Windungen ſenden; in letzterem Falle läßt ſich dadurch ſogleich entſcheiden, welcher von beiden Strömen der ſtärkere ſey. Bei ſolcher Einrichtung heißt das Inſtrument ein Differenzial-Galvanometer. Zu Intenſitätsmeſſungen dient auch ein Magnetometer nach Gauß, dem man ein multiplicirendes Drahtgewinde beigefügt hat.

Nach dem Ohm'ſchen Geſetze erhellet, daß die Action eines Multiplicators auf die Magnetnadel nicht bloß von der elektriſchen Thätigkeit, die den Strom erzeugt, ſondern auch noch von der Länge des in den Schließungsdraht eingeſchalteten Multiplicatordrahtes abhängt; überdieß wird genannte Action bei gleicher Stromkraft in den Windungen noch durch die Anordnung der Windungen ſelbſt bedingt. Bei dem Fechner'ſchen Galvanometer, ſo auch, wenn bloß eine einzige Drahtwindung und eine in Bezug auf deren Länge ſehr kurze Nadel gebraucht wird, darf man, im Einklange mit dem in 131 Geſagten, die Tangenten der Ablenkungswinkel den im Drahte herrſchenden Stromkräften proportional ſetzen. Ein Gleiches gilt noch, wenn man den Draht in parallelen Lagen um eine cylindriſche Büchſe mit kreisförmiger Baſis windet, innerhalb welcher eine Magnetnadel ſpielt. Hierauf beruht Nervander's Einrichtung des Multiplicators (Ann. de Chim.

55. 156). Gehen die Drahtlagen um ein parallelepipediſches Gehäuſe, ſo wird die im Drahte herrſchende Stromkraft durch den Ablenkungswinkel mittelſt eines complicirten Ausdruckes gegeben, worin die Abmeſſungen des Gehäuſes und der Nadel vorkommen. In einem ſolchen Falle könnte man zwar nach Fechner's Vorgange zu Schwingungsverſuchen ſeine Zuflucht nehmen, die jedoch mühſam und zeitraubend ſind, oder die Drehwage in Anwendung bringen, die aber eine delikate Behandlung fordert; doch weicht man allen dieſen Unzukömmlichkeiten am leichteſten mittelſt der von Pouillet angegebenen und von Poggendorf (Ann. 50. 504) verbeſſerten Sinusbouſſole aus. Bei dieſer iſt das Multiplicatorgewinde drehbar; läßt man es der abgelenkten Nadel folgen, bis es gegen dieſelbe genau wieder die frühere Stellung hat, ſo iſt die Stromkraft der auf die Nadel ſenkrechten Componente der horizontalen erdmagnetiſchen Kraft gleich, welche letztere durch den Sinus des Winkels gemeſſen wird, um den die Nadel vom magnetiſchen Meridian abweicht. Dieſer Winkel ſtimmt mit demjenigen überein, um den man das Multiplicatorgehäuſe aus ſeiner urſprünglichen Lage gedreht hat, und kann an dem Inſtrumente abgeleſen werden. Wäre die vom Drahtgewinde ausgehende Kraft ſtärker als die horizontale magnetiſche Erdkraft, ſo kann man die Intenſität des Stromes ſo nicht meſſen, ſie überſteigt die Grenzen des Inſtrumentes; wenn man aber ein doppeltes Drahtgewinde anwendet, und den Strom, nachdem man das eine Gewinde mit einem in die Leitung eingeſchalteten Hilfsdrahte um ein Gewiſſes verlängert hat, ſich in beide Gewinde theilen läßt, ſo daß ſeine Theile ſie in entgegengeſetzten Richtungen durchlaufen, ſo bekommt man eine Differenz von Wirkungen, aus der man das Verhältniß des ſtarken Stromes zu irgend einem ſchwächeren beſtimmen kann. Man kann letzteren ſich ſo in die Gewinde (mit Beibehaltung deſſelben Hilfsdrahtes) theilen laſſen, daß er ſie in einerlei Sinne durchläuft. Es hängt nämlich das Verhältniß zwiſchen der Summe und der Differenz der Wirkungen für einerlei Strom nur von dem Widerſtandsverhältniſſe der Drähte, nicht aber von der Intenſität des Stromes ab, und bleibt daher, wenn es für eine paſſende Intenſität durch Verſuche gefunden worden iſt, für alle andern giltig. In manchen Fällen iſt es gut, dem Multiplicatordrahte eine außerordentliche Länge zu geben (Fechner in Pogg. Ann. 45. 232). Mittelſt ſolcher läßt ſich unter andern ſehr leicht zeigen, daß der Strom der gemeinen Maſchinenelektricität eben ſo auf eine Magnetnadel einwirkt, wie jener einer Volta'ſchen Kette.

Da die Ablenkung der Magnetnadel eines Multiplicators ſich mittelſt gut iſolirter Leitungsdrähte in bedeutender Entfernung leicht zu Stande bringen läßt, ſo hat man die zwei Richtungen der Ablenkung, welche den zwei verſchiedenen Richtungen des elektriſchen Stromes entſprechen, als primitive Zeichen zur Telegraphie zu benützen verſucht, durch deren Combination ſich beliebig viele Zeichen bilden laſſen. Am einfachſten hat dieß Bar. Schilling v. Canſtadt ausgeführt; auch Andere, insbeſondere Wheatſtone, haben dem elektromagnetiſchen Telegraphen ſinnreiche Einrichtungen gegeben.

133. Gleichwie ein fixer Polardraht eine bewegliche Magnetnadel in Bewegung ſetzt, eben ſo muß ein fixer Magnet auf einen beweglichen Polardraht wirken. Um dieſes zu zeigen, denke man ſich den doppelt rechtwinklig gebogenen Draht O, Fig. 237, um die verticalen Spitzen m und n leicht beweglich und von Elektricität durchſtrömt. Dieſer Draht wird, ſo wie man ihm einen Magnet nähert, von dem-

ſelben angezogen oder abgeſtoßen, und zwar erſteres, wenn der elektriſche Strom im Leiter aufwärts geht, und von der Drehungsaxe angeſehen, den genäherten Nordpol zur Rechten hat; letzteres, wenn in Bezug auf die Richtung des Stromes oder die Stellung, oder die Beſchaffenheit des genäherten Poles das Gegentheil Statt findet. Ein um eine verticale Axe beweglicher Multiplicator dient zu demſelben Zwecke, und in ſo fern er dem Magnete mehrere Angriffspuncte darbietet, ſogar mit Vortheil, obgleich die Vermehrung der Windungen auch die zu bewegende Maſſe in demſelben Verhältniſſe vergrößert, in welchem die Kraft wächſt. Bei dem einfachen Drahte kann, wenn derſelbe nur empfindlich genug aufgehängt iſt, die magnetiſche Kraft eines Stahlſtabes durch jene der Erde vertreten werden. Es ſtellt ſich auch wirklich der Draht, durch den Einfluß des Erdmagnetismus auf den elektriſchen Strom, in eine auf den magnetiſchen Meridian ſenkrechte Ebene. Richtet man den Draht O ſo ein, daß ſeine Maſſe zu beiden Seiten der Axe m n gleich vertheilt iſt, und er daher, wenn dieſe ſeine Axe horizontal liegt, in Bezug auf ſelbe äquilibrirt erſcheint, ſo ſtellt er ſich, ſobald ein ſtarker elektriſcher Strom durch ihn geht und die Axe m n ſenkrecht gegen den magnetiſchen Meridian gerichtet iſt, in die Poſition des magnetiſchen Aequators.

134. Wir ſehen einen Körper, der auf eine Magnetnadel abſtoßend wirkt, als einen magnetiſchen an, daher müſſen wir auch dem elektriſchen Strome magnetiſche Kraft beilegen. Dieß iſt aber nicht bloß eine Erweiterung des Umfanges der Benennung, ſondern es findet zwiſchen einem elektriſchen Strome und einem Magnete überhaupt eine große Analogie in den Wirkungen Statt. Der elektriſche Strom ertheilt nämlich jedem Körper, durch den er geht, magnetiſche Kraft. Der Polardraht einer thätigen Volta'ſchen Säule zieht Eiſen an wie ein Magnet, er mag aus was immer für einem Materiale beſtehen, wenn er nur die Elektricität hinreichend leitet; doch dauert dieſes nur ſo lange, als der elektriſche Strom anhält, ſobald er aber aufhört, verſchwinden auch alle Spuren des Magnetismus. Der Zuſtand eines ſolchen Magnetes iſt bis jetzt noch nicht ſo weit ausgemittelt, daß man ſeine Pole anzugeben im Stande wäre, und wenn es überhaupt erlaubt iſt, von magnetiſchen Polen eines ſolchen zu reden, ſo muß man ihn als einen Transverſalmagnet anſehen. Eiſenfeilſtückchen, die man ihm nähert, hängen ſich nicht ſo an ihn an, wie ſie dieſes an einem gewöhnlichen Magnete thun, ſondern ſie wickeln ihn ein und legen ſich der ganzen Länge nach quer um ihn herum. Dieſe merkwürdige Wirkung des elektriſchen Stromes hat zuerſt Arago wahrgenommen.

135. Die magnetiſche Kraft des elektriſchen Stromes offenbaret ſich ferner dadurch, daß man durch einen ſolchen Strom Eiſen und Stahl magnetiſiren kann. Wird ein elektriſcher Strom ſchief über ein Eiſenſtäbchen geleitet, ſo erlangt daſſelbe ſchon magnetiſche Kraft. Dieſe wird noch größer, wenn der Strom das Stäbchen rechtwinklig kreuzt, und endlich noch viel bedeutender, wenn man mehrere elektriſche

Ströme quer über das Stäbchen gehen läßt. Letzteres findet Statt, wenn man den Polardraht zu einer hohlen Schraube zuſammenwindet und den zu magnetiſirenden Körper darein legt; denn in dieſem Falle kann man ſich die Richtung jedes Schraubenganges in zwei zerlegt denken, wovon eine auf der Axe der Schraube ſenkrecht ſteht, während die andere mit ihr parallel läuft. Letztere bringt keine hieher gehörige Wirkung hervor, und es vertritt daher die Schraube eben ſo viele quer über das Stäbchen geſpannte Polardrähte, als Schraubenwindungen in die Länge deſſelben fallen. Die magnetiſirende Kraft, welche da unter günſtigen Umſtänden eine Volta'ſche Kette entwickelt, iſt unglaublich. Man kann durch dieſes Mittel ein weiches Hufeiſen, das überfirnißt, mit Seide oder Wollband und mit einem etwa 1 L. dicken Kupferdrahte ſchraubenförmig umwickelt iſt (Fig. 238), deſſen Ende mit den Polen eines mäßigen Volta'ſchen Elementes in Verbindung ſtehen, ſtark magnetiſiren, und dieſer Magnetismus bleibt zum Theile, ſelbſt wenn der Strom aufgehört hat, bis man den Anker wegnimmt. in welchem Falle er aber ganz verloren geht. Die volle magnetiſche Kraft wird jedoch nicht im Augenblicke des Stromeintrittes, ſondern erſt allmälig erreicht. Man nennt einen ſo erzeugten Magnet einen temporären oder einen Elektromagnet. Alles, was die Intenſität der durch den Polardraht ſtrömenden Elektricität vermindert, ſetzt auch die magnetiſirende Wirkung des Stromes herab. Daher wirkt ein Strom, der durch Schwefelſäure geht, ſo ſchwach. Man kann immer die Lage der Pole des ſo zu erzeugenden Magnetes angeben. In einer links gewundenen Schraube wird immer jene Hälfte die Nordhälfte, welche dem Eintritte des elektriſchen Stromes am nächſten iſt, und daher die andere die Südhälfte; in einer rechts gewundenen Schraube erfolgt das Gegentheil.

Sturgeon hat zuerſt auf die mächtige magnetiſirende Kraft eines ſchwachen elektriſchen Stromes aufmerkſam gemacht. Ein weiches Hufeiſen von 29 Pfd. mit Spiralen von 3 Mill. dickem Eiſendrahte erhielt durch eine einfache Kette mit Platten von 14 Mill. Durchmeſſer eine Tragkraft von 48 Pfd. und durch eine ſolche mit Platten von 70 Q. Centim. Oberfläche eine Kraft von 124—153 Pfd. Einem 11 Pfd. ſchweren weichen Hufeiſen ertheilt man leicht mit einem Zinkkupferelemente von 1 Q. Fuß Oberfläche und 2 Linien dicken Kupferdrähten eine Kraft von 120 Pfd., mit einem Elemente von 4 Q. F. aber leicht eine Kraft von 200 Pfd. Ten Eyk hatte bisher hierin das Größte erzielt und einem Hufeiſen von 59½ Pfd. Gewicht mit einem Elemente von 4⁷⁄₉ Q. F. Oberfläche eine Tragkraft von 2063 Pfd. ertheilt. (Moll in Zeitſchr. 9. 106 und in Pogg. Ann. 29. 468; Ten Eyk in Schweigg. J. 65. 115.) Doch werden dieſe Verſuche durch die in neueſter Zeit aufgefundenen Verbeſſerungen ſowohl des Volta'ſchen Apparates, wie auch der Einrichtung des Elektromagnetes überflügelt. In erſterer Beziehung zeigt ſich bei Magnetiſirungsverſuchen eine galvaniſche Kette nach Grove außerordentlich wirkſam, und ein Gleiches gilt auch von den Surrogaten für ſelbe. In letzterer Hinſicht ſind die von Joule und von Radford zu Mancheſter conſtruirten Elektromagnete merkwürdig. Joule umwickelte der Länge nach einen Hohlcylinder von Eiſen (8 Z. engl. lang, 3¾ Z. im äußeren, 1 Z. im inneren Durchmeſſer hal-

tend) von dem ein Stück der Axe parallel abgeſchnitten war, das zugleich den Anker vorſtellte, mit 4 Kupferdrähten jeder 23 F. lang, $^1/_{11}$ Z. dick. Dieſer Elektromagnet iſt gleichſam eine Folge an einander gelegter kurzen Hufeiſenmagnete, ſo daß zwei ſehr breite Schenkel entſtehen. Mit einer Zinkeiſenbatterie ſtieg die Tragkraft auf 2030 Pfd. Bei einem andern Verſuche, wo 21 Drähte von $^1/_{25}$ Z. Dicke angewendet wurden, mit einer Kette von 16 Elementen zu 1 Q. F., auf 2775 Pfd. Ein anderer Cylinder, 2 F. lang mit bloß einer Lage von 5 Lin. dickem Kupferdrahte verſehen, der mitten durch, dann an jedem Schenkel außen vorbeiging, zeigte eine Tragkraft von 18 Ctn. Radford's Magnet beſteht aus einer maſſiven cylindriſchen Eiſenplatte, an deren Baſis ein Spiralgang eingeſchnitten iſt, der den Draht enthält. Ein Ende desſelben iſt in der Mitte nach oben durchgezogen, das andere geht ſeitwärts am Rande hinaus. Eine ähnliche Platte dient als Anker. Ein ſolcher Magnet von 9 Zoll Durchmeſſer, deſſen Gewicht 16 Pfd. war, trug bei einem Anker von 14½ Pfd. eine Laſt von 2500 Pfd. Die Zinkeiſenbatterie enthielt 12 Zellen zu 1 Q. F. (Pogg. Ann. 51. 378. *Ann. of. electricity.* 6. 231.) Es iſt klar, daß man einen, wenn auch nur temporären Elektromagnet zur Erzeugung von Stahlmagneten durch Streichen benützen könne. Ein Stahlſtab, der im glühenden Zuſtande mit jedem Ende an einen Pol eines ſtarken Elektromagnetes angelegt und in dieſer Lage abgelöſcht wird, ſoll hiedurch ſtarken Magnetismus erhalten. (*Ann. de Chim.* 51. 442.)

136. Die Umſtände, von welchen der im weichen Eiſen durch den Volta'ſchen Strom hervorgerufene Magnetismus abhängt, ſind die Stärke des elektriſchen Stromes, die Leitungsfähigkeit des Drahtes, die Anordnung der Windungen, die Homogeneität, Weiche, Maſſe des Eiſens u. dgl. Die Geſetze, nach denen ſich ihr Einfluß auf den Erfolg richtet, wurden von Jacobi und Lenz einer genauen theoretiſchen und experimentalen Unterſuchung unterworfen. Es ergaben ſich folgende Reſultate: 1) Die Größe dieſes Magnetismus iſt, bei übrigens gleichen Umſtänden, den angewandten Strömen genau proportional. 2) Bei gleichen Strömen und gleicher Anordnung iſt die Dicke des Spiraldrahtes gleichgiltig; doch erfordert ein dünner Draht, des größeren Leitungswiderſtandes wegen, zur Erzielung eines gleichen Stromes eine ſtärkere elektriſche Kette. 3) Die Weite der Windungen (der Durchmeſſer der Schraube) hat auf den Magnetismus nur an den Enden des Elektromagnets einigen Einfluß, wo die Kraft bei Vergrößerung dieſer Weite abnimmt. 4) Die Totalwirkung ſämmtlicher Windungen iſt der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen gleich. 5) Das Maximum des Magnetismus wird erhalten, wenn der geſammte Widerſtand der Umwicklung des Elektromagnetes dem geſammten Widerſtande der Volta'ſchen Kette gleich kommt (125). 6) Die Maxima des Magnetismus verhalten ſich alſo wie die Quadratwurzeln der Zinkoberflächen in der Batterie. 7) Der Magnetismus, den Eiſenſtäbe von gleicher Länge bei gleichen Strömen annehmen, iſt ihren Durchmeſſern proportional. 8) Die Anziehung zweier Elektromagnete ohne Berührung (alſo nicht die Tragkraft), oder eines Elektromagnetes und des weichen Eiſens verhält ſich wie die Quadrate der magnetiſirenden Ströme. (Pogg. Ann. 47. 225; 401; ebend. 51. 358.)

Dieſe Unterſuchungen haben ein großes praktiſches Intereſſe bezüglich der zuerſt von Jacobi und nach ihm von Andern vielfach verſuchten Anwendung der elektromagnetiſchen Kraft zum Maſchinenbetriebe. Da nämlich die Stellung der Pole eines Elektromagnetes von der Richtung des in ſeiner Drahtſpirale enthaltenen galvaniſchen Stromes abhängt, und jene Pole die entgegengeſetzte Beſchaffenheit annehmen, wenn dieſe Richtung umgekehrt wird, ſo geht, wenn dieß in der Nähe eines andern Magnetes geſchieht, die frühere Anziehung der einander gegenüber liegenden Pole in Abſtoßung über. Hiernach läßt ſich eine Einrichtung treffen, um eine continuirliche Bewegung zu bewirken. Das Weſen einer ſolchen Einrichtung ſtellt ſich auf die einfachſte Weiſe an Ritchie's rotirendem Elektromagnete dar. Man verſehe eine Holzſcheibe AB (Fig. 239), welche zwiſchen die zwei Schenkel eines entweder conſtanten oder erſt durch einen elektriſchen Strom zu erzeugenden Hufeiſenmagnetes paßt, mit einer kreisförmigen Rinne, die in der Richtung eines Durchmeſſers durch iſolirende Scheidewände in zwei Hälften getheilt iſt, ferner umwickle man ein Eiſenſtäbchen, das etwas kürzer iſt als der Durchmeſſer obiger Scheibe, mit Kupferdraht, der durch einen Seidenüberzug iſolirt iſt, und gebe ihm eine ſolche Einrichtung, daß es ſich um eine auf der Scheibe ſenkrechte Axe bewegen kann, und dabei die beiden Drahtenden in die genannte Rinne hineinreichen. Wird nun die Scheibe zwiſchen den aufrecht ſtehenden Schenkeln des Magnetes befeſtiget, die Rinne mit Queckſilber gefüllt, ſo daß deſſen Oberfläche etwas über die Scheidewand hervorreicht, jedoch ohne dieſelbe zu bedecken, der Magnet auf ſeine Drehungsaxe gebracht, ſo daß die zwei Drahtenden das Queckſilber berühren, und ein elektriſcher Strom durch das Queckſilber und den um das Eiſenſtäbchen gewundenen Draht geleitet; ſo beginnt dieſer Stab, der nun ſelbſt ein Magnet iſt, deſſen Pole bei jeder halben Umdrehung wechſeln, bei gehöriger Lage der Scheidewand, um ſeine Axe zu rotiren. Statt des rotirenden Elektromagnetes kann man auch ein kupfernes, um eine Axe bewegliches Rechteck oder ein Multiplicatorgewinde brauchen, deſſen Enden in das Queckſilber der Rinne reichen. Die Stelle des fixen Magnetes kann auch die Erde vertreten. Die Lebensfrage des Elektromagnetismus als Surrogat für die Dampfkraft iſt bis jetzt noch unentſchieden; der großen Kraft ungeachtet, welche die Magnete im Zuſtande der Ruhe zeigen, entſpricht die Bewegung den Erwartungen nicht. Gerade dieſe Kräfte rufen während der Bewegung andere hemmende Kräfte hervor, deren Natur auf ſpäter zu erklärenden Principien beruht.

137. Der elektriſche Strom aus einer Leidnerflaſche bewirkt im Allgemeinen dieſelben Erſcheinungen, wie der einer Volta'ſchen Säule, und zwar ertheilt er einem Drahte noch ſtärkeren Magnetismus; doch zeigt er beſondere Eigenthümlichkeiten. Bringt man nämlich über einem horizontalen, langen Drahte dünne und kurze Stahlſtücke in einer auf den Draht ſenkrechten Richtung ſo an, daß ſie eine ungleiche Entfernung vom Drahte haben, und entladet dann eine Leidnerflaſche oder eine Batterie durch dieſen Draht; ſo findet man zwar die Stahlſtücke magnetiſch, aber die gleichnamigen Pole liegen nicht bei allen an derſelben Seite, ſondern wenn z. B. das dem Strome nächſte Stäbchen den Nordpol an der rechten Seite hat, ſo findet dieſes in der Regel auch noch beim zweiten, dritten rc. Statt; doch iſt ihre Kraft immer ſchwächer, je weiter ſie vom Strome entfernt waren, hierauf folgt aber eine Reihe, an denen der Nordpol links liegt, auf dieſe wieder

eine andere mit rechts gelegenen Nordpolen u. ſ. f. Die Anzahl dieſer Abwechslungen hängt, nach Savary, der dieſes Phänomen entdeckte, von der Stärke des Stromes, von der Länge des Leitungsdrahtes, von den Dimenſionen der Metallſtücke und von ihrer Coercitivkraft ab. Derſelbe Gelehrte hat ferner gefunden, daß die Lage der Pole eines Stahlſtückes und die Stärke ihrer Kraft auch durch die Subſtanz modificirt werde, in die man es einhüllt. Eine dicke Kupferplatte hemmt die magnetiſirende Kraft ganz, eine dünne unterſtützt ſie. Dasſelbe thun auch andere Metalle (Pogg. Ann. 9. 443). Nach Moll wirkt die magnetiſirende Kraft des elektriſchen Stromes durch Elfenbein, gebrannten Thon, Stein, Holz, ja ſelbſt eine an und für ſich dieſe Kraft hemmende Metallhülle bleibt ohne Wirkung, wenn ſie mit einigen kleinen Löchern verſehen iſt (Zeitſchr. 6. 342). Es ſcheinen hiebei ſchon magneto-elektriſche Ströme im Spiele zu ſeyn, von denen erſt ſpäter die Rede ſeyn wird. Die Verſuche Savary's wurden von Rieß wiederholt. Er fand, daß eine dünne Nadel in derſelben Spirale bei wachſender Stärke des Stromes abwechſelnd in dem einen, darauf in dem andern Sinne magnetiſirt werde, eine Anomalie, die bis jetzt noch unerklärt iſt. (Pogg. Ann. 47. 58.)

138. Wenn man die Einwirkung eines elektriſchen Stromes auf einen Magnet näher betrachtet, ſo kommt man leicht auf die Vermuthung, daß der Nordpol des Magnetes um den Polardraht nach einer Richtung, der Südpol desſelben aber nach der entgegengeſetzten Richtung zu rotiren ſtrebe. Geht z. B. der Strom horizontal von Süd nach Nord, ſo wird der Nordpol der Nadel, wenn ſie über dem Drahte ſteht, nach Oſt, wenn ſie auf der Oſtſeite ſteht, abwärts, wenn ſie unter dem Drahte ſteht, nach Weſt, wenn ſie auf der Weſtſeite des Drahtes ſteht, aufwärts getrieben, alſo ſtets von der Rechten gegen die Linke um den Strom herum. Der Südpol verhält ſich gerade entgegengeſetzt. Daß bei den vorhergehenden Verſuchen dieſe Rotation nicht eintrat, kann daher kommen, daß der Magnet ſich nicht frei bewegen konnte, und ſeine zwei Pole eine entgegengeſetzte Bewegung einſchlagen wollten. Ob dieſe Vermuthung richtig ſey, wird man erfahren, wenn man einen elektriſchen Strom nur auf einen Pol eines freien Magnetes wirken läßt. Dieſes kann man erreichen, wenn man ein Gefäß A, Fig. 240, mit Queckſilber füllt, in dieſes Queckſilber durch einen verticalen Draht BC einen elektriſchen Strom leitet, ſo daß er längs der Oberfläche desſelben abfließt, endlich in das Queckſilber ein Magnetſtäbchen D gibt, welches darin durch eine angehängte Platinmaſſe in verticaler Lage ſchwimmend erhalten wird. So wie der elektriſche Strom beginnt, fängt auch der Magnet an, ſich um den Polardraht zu bewegen nach einer Richtung, die ſich nach der vorhergehenden Regel vollkommen richtig beſtimmen läßt. Geht nämlich der Strom aufwärts und ſtellt man ſich in Gedanken in denſelben, das Geſicht gegen den Magnet gekehrt, ſo umkreiſet derſelbe den Strom von der Rechten gegen die Linke, wenn der außerhalb des Queckſilbers ſich befindende Pol der Nordpol iſt. Iſt der Südpol aufwärts ge-

kehrt, oder geht der Strom abwärts, ſo erfolgt wegen jedem dieſer Umſtände für ſich allein die entgegengeſetzte Bewegung des Magnetes um den Strom. Hieraus iſt leicht zu errathen, daß ſich auch ein beweglicher Polardraht um einen Magnet bewegen wird. Man kann dieſes zeigen, wenn man in ein mit Queckſilber gefülltes Gefäß A, Fig. 241, einen leicht beweglichen Draht BC vertical herabhängen läßt, und in der Mitte des Gefäßes einen verticalen Magnetſtab anbringt, oder auch durch dasſelbe einen Stab DE von weichem Eiſen gehen läßt, dem man mittelſt eines, an ſeinem aus dem Gefäße hervorſtehenden untern Theile E angelegten Magnetes Magnetismus ertheilt, wobei man den Vortheil hat, die Pole leicht wechſeln zu können. Der untere Theil dieſes Drahtes reicht bloß mit der Spitze an das Queckſilber, und wird durch ein kleines Glaskügelchen gehindert, den Magnet zu berühren. Sobald man einen elektriſchen Strom durch den Draht in das Queckſilber gehen läßt, fängt das Umkreiſen des Polardrahtes an, und dauert fort, ſo lange der Strom anhält. Hat der Eiſenſtab Nordmagnetismus und geht der Strom im Drahte aufwärts, ſo circulirt letzterer, vom Magnete aus betrachtet, von der Rechten gegen die Linke. So wie der magnetiſche Pol geändert wird, oder die mit den Polen der Säule verbundenen Drähte verwechſelt werden, ändert ſich auch die Richtung der kreiſenden Bewegung. Dieſen Verſuch hat Faraday zuerſt angeſtellt.

Der Apparat, durch den man ein Rotiren des Polardrahtes um einen Magnet und umgekehrt erzeugt, läßt ſich auf mannigfaltige Weiſe abändern. Man kann den Polardraht wie eine Magnetnadel auf eine verticale Spitze, die auf einer Magnetſtange angebracht iſt, ſtellen, und eines oder beide ſeiner Enden in ein Queckſilbergefäß abwärts biegen; man kann ſogar um jeden Pol eines hufeiſenförmigen Magnetes einen ſolchen Polardraht anbringen, und zugleich eine Bewegung um beide Pole erzeugen. Barlow hat an einem gabelförmig ausgeſchnittenen Polardrahte U (Fig. 242) ein ſternförmiges Rädchen angebracht, deſſen Spitzen in Queckſilber reichten, und deſſen Ebene ſich zwiſchen den Schenkeln eines hufeiſenförmigen Magnetes befand. Dieſes Rädchen wird durch den elektriſchen Strom mit ungemeiner Geſchwindigkeit umgedreht. Legt man den Magnet um, ſo daß der Nordpol dorthin kommt, wo früher der Südpol ſich befand, oder ändert man die Richtung des Stromes, ſo nimmt das Rädchen die entgegengeſetzte Bewegung an. Thut man beides zugleich, ſo bleibt die Richtung der Drehung ungeändert. Daher wechſelt das Rädchen ſeinen Gang nicht bei dem Wechſeln der Stromrichtung, wenn man ſtatt eines Stahlmagnetes einen Elektromagnet anbringt, und den Strom ſtets auf dieſelbe Weiſe in einem Zuge durch die magnetiſirende Spirale und das Rädchen gehen läßt. Die Art der Drehung des Rädchens läßt ſich hier nach derſelben Regel beſtimmen, wie in den obigen Fällen. Geht der Strom in den Radſpeichen aufwärts, ſo weicht der untere Theil des Rädchens, vom Nordpole des Magnetes angeſehen, links aus. Geht der Strom abwärts, ſo erſcheint die Bewegung von demſelben Standpuncte entgegengeſetzt. Davy hat ſelbſt an flüſſigen Leitern, z. B. am Queckſilber, an geſchmolzenem Zinn deutliche Rotationen erzeugt. Er bediente ſich dazu eines Gefäßes, durch deſſen Boden zwei verticale Drähte gingen, die ringsum, bis auf ihre oberſte Fläche

mit Siegellack überzogen waren. Wurde Queckſilber in das Gefäß gegeben, bis es die Drähte deckte, und durch ſie eine mächtige Volta'ſche Säule entladen; ſo erhob ſich das Queckſilber über den Drähten in kegelförmiger Geſtalt und ſchlug Wellen. Wurde der Pol eines Magnetes über einem jener Drähte angebracht, ſo ſenkte ſich der Kegel, verſchwand bei größerer Annäherung des Magnetes ganz, und ging endlich gar in eine Vertiefung über, aber das Queckſilber fing um denſelben Pol zu rotiren an (Schweigg. J. 40. 332). Nach Fechner kann man eine Flüſſigkeit durch folgende Vorrichtung in eine elektromagnetiſche Rotation verſetzen: Man ſtelle auf den Pol eines aufrechtſtehenden Magnetes eine Kupferſchale von 4—5 Zoll Durchmeſſer, die in der Mitte aufwärts gedrückt iſt, um in dieſer Stellung ruhig zu verharren. Auf dieſen in die Höhe gedrückten Theil lege man einen Zinkring, und gieße mit einer Salmiaklöſung gemiſchte Salzſäure in die Schale, damit durch das Kupfer und Zink ein elektriſcher Strom erregt werde, der durch die Flüſſigkeit geht. Letztere beginnt nun beſonders ſchnell am Zinkringe zu rotiren, und nimmt ſelbſt hineingelegte Papierſtückchen mit (Schweigg. J. 55. 15). Am leichteſten ſtellt man eine ſolche Rotation nach Schweigger dar, wenn man auf einen Pol eines kräftigen Hufeiſenmagnetes ein Uhrglas mit einer Miſchung von Salpeterſäure mit etwas Salzſäure ſetzt und ein Stückchen Silberdraht nebſt einem Zinkdrahte hineinhält. Sobald dieſe Drähte ſich an den oberen Enden berühren, beginnt ein elektriſcher Strom und mit ihm in der Flüſſigkeit zwei deutlich ſichtbare Wirbel um die Drähte, deren Richtung ſich in die entgegengeſetzte verwandelt, wenn man das Schälchen auf den andern Magnetpol überträgt. Ritchie hat zwei Apparate zur Darſtellung der Rotation des Waſſers unter der Einwirkung des Stromes einer Volta'ſchen Säule angegeben. (Pogg. Ann. 27. 582.)

139. Ampère hat gefunden, daß ein Magnetſtab, der ſo aufgeſtellt iſt, daß er ſich bloß um eine durch die beiden Pole gehende Axe drehen kann, durch einen elektriſchen Strom, welcher, von einem Magnetende an gerechnet, einen Theil des Magnets durchfließt und ſeitwärts von ihm weggeht, in Drehung verſetzt wird. Zur Darſtellung dieſer Erſcheinung bedient man ſich am einfachſten des Apparates Fig. 243, worin N S den zwiſchen zwei feinen Spitzen drehbaren Magnet, und A ein die untere Hälfte deſſelben umgebendes Gefäß vorſtellt, das mit Queckſilber gefüllt wird. Die obere Spitze ſteht mit dem einen, der Rand der Queckſilberfläche mit dem andern Pole einer Volta'ſchen Kette in leitender Verbindung. Geht der Strom im Magnete aufwärts und ſteht der Nordpol oben, ſo ſieht man den Magnet ſich von der Rechten gegen die Linke drehen; die Richtung dieſer Drehung wechſelt, wenn eine dieſer Bedingungen in die entgegengeſetzte übergeht.

Wenn gleich die am Eingange von 138 angeſtellte Betrachtung zur Entdeckung dieſer Drehungsphänomene, ja ſogar zur Angabe der Art der Drehung führen konnte, ſo gewährt ſie doch noch keine ſo klare Einſicht in den eigentlichen Hergang der Sache, als man gewinnt, wenn man die Erſcheinung als das Ergebniß der Geſammtwirkung aller einzelnen Theilchen des elektriſchen Stromes auf alle magnetiſchen Theilchen betrachtet und dieſe auf Grundlage des in 129 ausgeſprochenen Geſetzes, welches eben ſo gut die Action eines Stromelementes auf

ein magnetiſches Theilchen, als die gleiche und parallel entgegengeſetzte Action dieſes auf jenes angibt, durch den Calcul beſtimmt. Erſt aus einem ſolchen Calcul kann man den Einfluß mit Sicherheit entnehmen, der eine Veränderung in der Anordnung des Schließungsleiters gegen den Magnet auf das Phänomen hat, ſo wie den Antheil, der jeder einzelnen Partie des Leiters und des Magnetes dabei zukommt. So ſind es bei der Bewegung eines in Queckſilber ſchwimmenden Magnetes um den darein tauchenden Polardraht (138) vornehmlich die Ströme auf der Queckſilberfläche, welche dieſe Bewegung bewirken. Nach W. Weber's Behauptung (Pogg. Ann. 52. 353) hätte jedoch Ampère das oben beſchriebene Rotationsphänomen des Magnetes um ſeine eigene Axe nicht aus dem richtigen Geſichtspuncte betrachtet, indem er dem Strome im Magnete aus dem Grunde keinen Antheil an der ins Spiel geſetzten bewegenden Kraft einräumte, weil ein Syſtem unveränderlich mit einander verbundenen Puncte ſich nicht durch innere Kräfte in Bewegung ſetzen könne. Es dürfe hier nach Weber's Meinung gar nicht angenommen werden, daß der Stromtheil im Magnete mit dieſem ein feſtes Syſtem bilde, da der galvaniſche Strom frei durch den Magnet gehe und nicht an die Stahlmolekel gebunden ſey. Der Strom könne daher durch ſeine Action auf den Magnetismus der Stahlmolekel den Magnet ſelbſt bewegen.

140. Ein in ſich ſelbſt zurückkehrender Volta'ſcher Strom, z. B. der durch einen kreisförmig gebogenen Schließungsleiter geführte, wirkt auf einen Magnet, als wenn die durch ihn gelegte Ebene auf der einen Seite mit Nord-, auf der andern mit Südmagnetismus beſetzt wäre. Ein Syſtem hinter einander ſtehender kreisförmigen Ströme, die in einerlei Sinn fließen, oder ein von Elektricität durchſtrömter Schraubendraht, durch deſſen Axe ein Drahtende zurückläuft, und dadurch die Schiefe der Gänge compenſirt, wirkt wie ein Magnetſtab, mit dem einzigen Unterſchiede, daß die Pole des Schraubengewindes an den Enden deſſelben liegen, während ſie bei dem Magnetſtabe etwas von den Enden abſtehen. Dieß iſt ſowohl Reſultat der Beobachtung (vergl. 135), wie auch Ergebniß des in 129 angeführten Geſetzes. Wickelt man einen Draht um zwei Glasröhren, wie es Fig. 244 zeigt, läßt das abwärts gehende Drahtende in Queckſilber tauchen, während das aufwärts gerichtete in einen Haken ausläuft, mit dem es in ein etwas Queckſilber enthaltendes Schälchen eingreift, und verbindet eine kräftige galvaniſche Kette mit den zwei Queckſilberbehältern, ſo hat man einen Magnetſtab ohne ein an ſich magnetiſches Metall, der einem Magnete gegenüber ſeine Pole beurkundet, ja wenn man für Beweglichkeit der Aufhängung Sorge getragen hat, ſich wie eine Declinationsnadel in den magnetiſchen Meridian ſtellt.

141. Da ein gehörig angeordneter elektriſcher Strom in der Wechſelwirkung zweier Magnete den einen Magnet vertreten kann, ſo iſt zu vermuthen, daß dabei auch der andere Magnet durch einen elektriſchen Strom erſetzt werden könne, was die Erfahrung beſtätiget. Hieraus folgt ſogleich die wichtige Entdeckung Ampère's, daß überhaupt ein elektriſcher Strom auf einen andern einwirkt. Ampère hat dieſe Action, durch entſcheidende Verſuche geleitet, auf eine Kraft zurückgeführt, welche jedes kleinſte Stromtheilchen auf jedes andere

Stromtheilchen ausübt. Läßt man dieſe Zerlegung elektriſcher Ströme in kleinſte Theilchen gelten, ſo wirkt dieſe Kraft längs der Verbindungslinie je zweier Stromtheilchen, iſt der Stärke der Ströme und den Größen der Theilchen direct, dem Quadrate ihres Abſtandes verkehrt proportionirt, hängt aber überdieß noch von einem Factor ab, der durch die gegenſeitige Lage der Richtungen der Stromtheilchen beſtimmt wird, und deſſen mathematiſchen Ausdruck Ampère angegeben hat. Hiernach läßt ſich die aus der Geſammtwirkung aller Stromtheilchen reſultirende Wechſelwirkung zweier, wie immer geſtalteten Ströme auf das Schärfſte berechnen. Die Unzulänglichkeit der elementar-mathematiſchen Hilfsmittel erlaubt nicht, hier in ein näheres Detail dieſer ſchönen Theorie einzugehen. Wir begnügen uns daher mit der Angabe einiger ſpeciellen, unter dem allgemeinen Geſetze enthaltenen und eines einfachen Ausdruckes fähigen Fälle, von denen ſich zur qualitativen Erklärung der Erſcheinungen ein nützlicher Gebrauch machen läßt. Sie ſind: 1) Zwei geradlinige unter einem Winkel gegen einander geneigte Stromtheile ziehen ſich an, wenn beide gegen den Scheitel des Winkels gerichtet ſind, oder beide von dem Scheitel weggehen. Geht aber ein Strom gegen den Scheitel des Winkels hin, der andere davon weg, ſo ſtoßen ſich die Ströme ab. 2) Zwei geradlinige parallele Stromtheile, die nach einerlei Gegend gerichtet ſind, ziehen ſich an; ſind aber die Richtungen derſelben entgegengeſetzt, ſo ſtoßen ſie ſich ab. Dieſes zweite Geſetz läßt ſich unter das erſte ſubſumiren, wenn man parallele Linien als ſolche betrachtet, die den Winkel 0 bilden. 3) Die Theile deſſelben Stromes ſtoßen einander ab. Auch dieſes folgt aus (1), wenn man die Verlängerung einer Richtung als den zweiten Schenkel eines Winkels von 180° betrachtet. 4) Ein geradliniger Stromtheil, der ſo gegen einen geraden Strom geſtellt iſt, daß ſeine Richtung rückwärts verlängert den letzteren trifft, wird längs der Richtung dieſes Stromes getrieben; ſteht aber der erſtere Stromtheil ſo, daß er gegen den andern hingeht, ohne ihn zu durchſchneiden, ſo wird er in einem der Richtung des letztern entgegengeſetzten Sinne getrieben. Dieß iſt eine einfache Folge des Geſetzes (1). Es ſey nämlich AB, Fig. 245, die Lage des von dem Strome CD afficirten Stromtheiles; E der Punct, in welchem CD von der verlängerten Linie AB geſchnitten wird, und nehmen wir die Richtungen der Ströme ſo, wie ſelbe die beigeſetzten Pfeile anzeigen, ſo ziehen ſich die Stromtheile ED und AB an, und CE und AB ſtoßen ſich ab; es wird alſo AB nach CD hin getrieben. Hätte aber der Strom in AB die entgegengeſetzte Richtung, ſo würde AB nach DC getrieben. Kann alſo im erſten Falle der Leiter AB ſich parallel zu ſeiner anfänglichen Poſition verſchieben, ſo ſchreitet er längs CD vorwärts; kann er ſich um B drehen, ſo wird er in Rotation verſetzt, und die Einwirkung, die er dabei in allen ſeinen Lagen von CD erfährt, befördert die Drehung in demſelben Sinne. Nähert man aber unter der Vorausſetzung, daß ſich AB um B drehen kann, den Strom CD dem Stromtheile AB, bis jener dieſen ſchneidet, ſo kommt wegen der conträren Action von

CD auf die beiden Stücke von AB endlich eine ſolche Stellung zum Vorſchein, worin das Beſtreben zur continuirlichen Rotation aufhört und eine Gleichgewichtslage von AB möglich wird. Alle dieſe und noch viele andere Folgerungen hat Ampère durch ſcharfſinnig ausgedachte Experimente bekräftiget. Bei ſolchen Verſuchen darf der Einfluß der Erde auf die beweglichen Stromleiter nicht außer Acht gelaſſen werden, der um ſo greller hervortritt, je beweglicher die Theile des Apparates und je kräftiger die Ströme ſind. Ampère hat ſtets dafür geſorgt, jede Wirkung der Erde durch eine entgegengeſetzte aufzuheben.

Um die Sätze 1) und 2) experimentell zu rechtfertigen, bedient man ſich eines Drahtes ABCD von der Form wie Fig 246 zeigt, den man an einem Geſtelle, wie M iſt, leicht beweglich aufhängt. Die Schälchen x y, worein die ſpitzigen Drahtenden eingreifen, enthalten etwas Queckſilber und ſind die Ein- und Austrittsſtellen des galvaniſchen Stromes. Dieſem beweglichen Leiter bietet man einen fixen Leiter, wozu ſich am beſten ein quadratiſcher, mit einem multiplicirenden Drahtgewinde umgebener Rahmen eignet, deſſen Draht man gleichfalls in die galvaniſche Kette einſchaltet, in verſchiedenen Poſitionen dar. Legt man eine Seite des Rahmens unter BC, ſo kann man das Geſetz 1) beweiſen; ſtellt man den Rahmen auf, ſo daß eine Seite mit AB parallel wird, ſo rechtfertiget ſich das Geſetz 2). Eine Folge des Geſetzes 1) iſt die Rotation eines beweglichen Rechteckes oder Drahtgewindes, das man ganz auf ähnliche Weiſe wie den ſich drehenden Elektromagnet in Ritchie's Apparate (vergl. 136) anbringt, deſſen fixen Magnet man mit einem ähnlichen Drahtgewinde vertauſcht hat, unter welchem das vorgenannte vorbeigehen kann. Die Pole der Volta'ſchen Kette, welche den Strom liefert, werden mit dem einen Drahtende des äußeren fixen Gewindes und mit einem der Queckſilberfächer, worein die Enden des beweglichen Drahtes tauchen, in Verbindung geſetzt. Das zweite Ende des fixen Gewindes geht zum andern Queckſilberfache. So geht der Strom in einem Zuge durch beide Gewinde. Die in das Queckſilber reichenden Enden des beweglichen Stromleiters ſtehen über der Scheidewand beider Fächer in dem Augenblicke, wo dieſer Leiter unter den äußeren tritt; der Strom wechſelt in dem beweglichen Theile ſeiner Richtung, die frühere Anziehung beider Leiter geht in Abſtoßung über, der bewegliche Leiter wird zum Weitergehen beſtimmt, und es findet ſomit eine continuirliche Rotation Statt. Um die Anziehung gleichlaufender Ströme auf eine einfache Weiſe zu zeigen, winde man einen langen Draht zu einer ſchlaffen, hohlen Spirale zuſammen, hänge ſie in verticaler Richtung ſo auf, daß das untere Ende in Queckſilber taucht, und leite einen elektriſchen Strom durch. Die Spirale zieht ſich durch die Anziehung der in den einzelnen Windungen gleich fließenden Ströme zuſammen, tritt unten aus dem Queckſilber, wodurch der Strom aufhört, die Spirale ſich wieder eintaucht, abermals zuſammenzieht und ſo fortwährend oſcillirt. Die Anziehung und Abſtoßung paralleler Ströme läßt ſich auch mittelſt der Maſchinenelektricität darſtellen, wenn man nur die Schnelligkeit der Entladung durch Einſchaltung ſchlechterer Leiter mäßiget, oder durch Anbringen von Spitzen an den Leitern ein continuirliches Ausſtrömen der Elektricität herbeiführt. (Schmidt in Gilb. Ann. 68. 28.)

Um die in 3) ausgeſprochene repulſive Wirkung eines elektriſchen Stromes auf ſich ſelbſt zu erfahren, bediene man ſich eines durch eine Querwand in zwei Fächer getheilten Gefäßes A (Fig. 247), fülle in

jedes Fach Queckſilber ein, ſetze eines in x mit dem poſitiven, das andere in y mit dem negativen Pole einer Volta'ſchen Säule in Verbindung, und lege auf das Queckſilber einen Metalldraht BC, der beide Fächer mit einander verbindet. Sobald der elektriſche Strom beginnt, gleitet der Leiter BC längs der Oberfläche des Queckſilbers hin und entfernt ſich von x und y.

Zur experimentalen Rechtfertigung des Geſetzes 4) umwickle man ein Glasgefäß A (Fig. 248) mit einem durch einen Seidenüberzug iſolirten Kupferſtreifen. Dieſer kann dem Polardrahte CD in Fig. 245 um ſo mehr ſubſtituirt werden, da er zugleich als Multiplicator wirkt, und den Effect des elektriſchen Stromes, welcher durch ihn geleitet wird, ſteigert. Den Polardraht für den zweiten, verticalen Strom erhält man, wenn man ein Drahtſtück an zwei Stellen unter einem rechten Winkel biegt, ſo daß es aus zwei verticalen und einem horizontalen Theile beſteht, wie abcb, dasſelbe unten mit einem kreisförmigen Kupferſtreifen verſieht, es auf einen durch den Boden des Gefäßes gehenden Stift beweglich ſtellt, und in dieſes Gefäß ſäuerliches Waſſer gibt, das den Kupferdraht berührt. Leitet man nun einen elektriſchen Strom ſo, daß er in dem verticalen Stifte aufſteigt, an deſſen Ende in zwei Theilen gegen b und c geht, hierauf abwärts durch ba und cd in den Ring fließt, von dieſem in das ſäuerliche Waſſer gelangt, hierauf in den Multiplicator übergeht, und endlich zum negativen Pole der Volta'ſchen Säule gelangt (oder eine gerade entgegengeſetzte Richtung nimmt); ſo beginnt alſogleich das Rotiren des Stückes abcd, und zwar nach einer Richtung, die der des Stromes im Multiplicator entgegengeſetzt iſt. Es zeigt ſich auch ein Rotiren des Kupferringes, wenn man den Multiplicator wegläßt. Ampère ſchreibt dieſes dem Erdmagnetismus zu, und, wie es ſcheint, mit Recht, da deſſen Wirkung der eines verticalen, mit dem Nordpole abwärts gekehrten Magnetſtabes gleich ſeyn muß; indeß hat man dagegen doch wohl zu beachtende Bedenklichkeiten erhoben. (Muncke in Gehler's Wörterb. 4. 589)

142. Mittelſt einer elektriſchen Kette, die einigen Leitungswiderſtand zu überwinden vermag, kann man eine ganze Reihe elektromagnetiſcher und elektro-dynamiſcher Rotationsapparate auf einmal in Bewegung ſetzen. Hiebei iſt es angenehm, die Richtung des Stromes wechſeln zu können, ohne den zu den Polen der Kette gehenden Leitungsdrähten die entgegengeſetzte Anordnung zu geben. Man leiſtet dieſes durch Einſchaltung eines ſogenannten Commutators oder Gyrotrops in den Schließungskreis. Die einfachſte Anordnung deſſelben iſt folgende: A, B, C, D, Fig. 249, ſind vier kleine Gefäße mit Queckſilber, oder, wenn man den Gebrauch des Queckſilbers beſeitigen will, vier metallene Hülſen, welche an den Eckpuncten eines Quadrates ſtehen. Hievon werden zwei einander diagonal gegenüberliegende, wie A, C mit den Polen der galvaniſchen Kette, die beiden andern B, D mit dem Anfange und Ende der durch Zwiſchenleitungen zuſammenhängenden Folge der Apparate, durch welche der Strom gehen ſoll, in Verbindung geſetzt. An einer iſolirenden Platte abcd befinden ſich vier Metallfüße a, b, c, d, welche in die Oeffnungen A, B, C, D, und zwar wegen der quadratiſchen Form, in jeder Lage paſſen. Hievon ſind a und b, dann c und d in leitender Verbindung. Setzt man nun abcd ſo auf ABCD, daß die mit den gleichnamigen Buchſtaben

bezeichneten Stücke zuſammentreffen, und tritt der Strom bei A ein, ſo geht er nach B, dann durch die ganze Folge der Apparate, und kehrt über D nach C zurück. Setzt man aber a b c d ſo auf A B C D, daß die Stücke b c d a in der Ordnung wie ſie jetzt genannt worden ſind, in A B C D kommen, ſo geht der bei A eintretende Strom nach D, durchlauft die Leitung in entgegengeſetzter Richtung, und kehrt über B und C zurück.

Sehr bequem iſt die Diſpoſition, die Pohl dem Gyrotrop gegeben hat, und die Fig. 250 vorſtellt. A, B, C, D, E, F ſind 6 kleine Queckſilberbehälter in gleichen Abſtänden auf einem kreisrunden Brette, wovon A mit D und B mit E durch Metallſtreifen, die ſich bei der Durchkreuzung ausweichen, in leitender Communication ſteht. Ein Bügel mit 6 Metallfüßen, wovon je drei a, f, e, dann b, c, d leitend verbunden, und die mittleren f, c etwas länger ſind, wird in die genannten Behälter ſo eingeſetzt, daß die Füße f und c in F und C tauchen, und zugleich, je nachdem man den Bügel entweder nach der einen oder der andern Seite wendet, entweder die Füße a, b in A, B, oder die Füße e, d in E, D. Bringt man nun in F, C die Zuleitungen von den Polen der Volta'ſchen Kette, und in A, B die Enden des Schließungsleiters, durch welchen der Strom geführt werden ſoll an, ſo geht der Strom bei der erſten Poſition des Bügels von F nach A, durchlauft die Leitung und kehrt über B nach C zurück; bei der andern Stellung des Bügels geht der Strom von F nach E B, durchlauft die Leitung im entgegengeſetzten Sinne und kehrt über A, D nach C zurück. Man kann dem Commutator noch andere Einrichtungen geben. Die erſte Idee des Apparates verdankt man Ampère. Er hat auch einen allgemeinen elektromagnetiſchen Apparat conſtruirt, der alle zur Demonſtration der bisher angeführten Phänomene nöthigen Geräthſchaften als Beſtandtheile umfaßt. Dieſer etwas complicirte Apparat iſt ſeitdem von mehreren experimentirenden Phyſikern abgeändert und vereinfacht worden, im Ganzen betrachtet ſogar entbehrlich, da der Gebrauch getrennter Apparate für die einzelnen Phänomene mehr Bequemlichkeit gewährt.

143. Weil die kleinſten Theilchen elektriſcher Ströme, wenn man die Totalwirkung eines Stromes als das Reſultat der Partialwirkungen ſeiner Elemente betrachtet, auf einander längs ihrer Verbindungslinie wirken, mithin hier Action und Reaction wie in allen bisher gekannten Fällen, gleich und entgegengeſetzt ſind, während bei ähnlicher Analyſe der Wechſelwirkung zwiſchen einem Magnete und einem elektriſchen Strome das Beſtehen lateraler Kräfte zwiſchen jedem magnetiſchen und jedem Stromtheilchen vorausgeſetzt werden muß, wobei kein directer Gegenſatz zwiſchen Action und Reaction obwaltet; ſo fand es Ampère unwahrſcheinlich, daß letztere Wirkungsweiſe für ſich als eine urſprüngliche in der Natur beſtehe: er ſah vielmehr in dieſer Art der Kraftäußerung die Andeutung, daß die Action zwiſchen den kleinſten magnetiſchen und Stromtheilchen ſelbſt noch ein zuſammengeſetztes Phänomen ſey, das auf die gewöhnliche Wirkungsweiſe der zwiſchen materiellen Theilchen in der Natur beſtehenden Kräfte ſich zurückführen laſſe. Da nun, wie der auf das Wirkungsgeſetz der Stromelemente gegründete Calcul lehrt, ein elektriſcher Strom, der in

einem in ſich ſelbſt zurückkehrenden, eine unendlich kleine Fläche begrenzenden Leiter circulirt, in allen ſeinen Wirkungen ſich ſo verhält, als ob dieſes Flächenſtückchen auf der einen Seite Nordpolarität, auf der ander Südpolarität beſäße, gerade ſo, als ob ein magnetiſches Element vorhanden wäre, ſo verwarf Ampère die Annahme eigener magnetiſcher Flüſſigkeiten gänzlich, und ſchrieb die Polarität der Theilchen der Magnete der Anweſenheit elektriſcher Ströme zu, welche dieſe Theilchen umkreiſen. Eine unendlich dünne Magnetnadel iſt nach Ampère nichts weiter, als ein Syſtem auf einander folgender geſchloſſenen elektriſchen Ströme, welche in unendlich kleinen Bahnen circuliren, durch deren Mittelpuncte die Nadel ſenkrecht gegen die Ebenen der Bahnen hindurch geht. Eine ſolche lineare Reihe von Strömen nennt Ampère ein Solenoid. Ein Magnetſtab kann als der Inbegriff unendlich vieler ſolcher gleich langen parallelen Nadeln angeſehen werden. Das Magnetiſiren von Eiſen oder Stahl beſteht in der Erweckung oder in der Anordnung ſolcher bereits beſtehenden Ströme. Dieſe ſelbſt wirken auf einander ein, wodurch der Parallelismus der Bahnen geſtört wird; dieß iſt die Urſache, warum die Pole eines Magnetſtabes nicht wie bei einem Solenoid an den Enden liegen. Die Erde ſelbſt hat nach Ampère's Anſicht ihre magnetiſche Kraft von galvaniſchen Strömen, welche von Oſt nach Weſt gerichtet ſind, mithin dem Laufe der Sonne folgen. So ſcharfſinnig auch dieſe Anſicht ausgedacht und ſo conſequent ſie auch von ihrem Urheber durchgeführt wurde, ſo hat ſie doch vor der Annahme eigener magnetiſcher Principien gar keinen Vorzug, denn ſie poſtulirt ein Fortbeſtehen elektriſcher Ströme auf eine Weiſe, welche mit dem allgemeinen Verhalten der Elektricitätsleiter, und ſolche ſind ja die des Magnetismus fähigen Metalle, nicht in Einklang zu bringen iſt. Auch kennen wir keinen Fall des ſelbſtſtändigen Fortbeſtehens elektriſcher Ströme; immer muß eine elektromotoriſche Kraft vorhanden ſeyn, die ſie in Bewegung erhält. Die Ampère'ſche Hypotheſe ſetzt nur an die Stelle eines Unbegreiflichen, nämlich der lateralen Kraftäußerung, ein anderes Unbegreifliches. Endlich iſt ja die directe Action der Kräfte um nichts mehr einleuchtend, als die laterale. Das Ende der Naturforſchung iſt, daß wir auf Erſcheinungen ſtoßen, über die wir bei der Zurückführung der Wirkungen auf ihre Urſachen nicht weiter hinaus können; dieſe ſind die Ausgangspuncte für unſere Erklärungen. Höchſt beachtenswerth ſind die Bemerkungen Weber's (Pogg. Ann. 52. 355; 379) gegen die Ampère'ſche Vorſtellungsweiſe vom Magnetismus, nach welchen Bemerkungen es bereits Verſuche gibt, die auf eine richtige Weiſe aufgefaßt, für die Exiſtenz getrennter magnetiſchen Flüſſigkeiten entſcheiden, da ſie ſich aus Ampère's Hypotheſe nicht genügend erklären laſſen. (S. das folg. Kap.)

Ueber Electro-Magnetismus ſiehe: *Oersted Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam. Hafniae* 1820. Pfaff, der Elektro-Magnetismus, eine hiſtoriſch-kritiſche Darſtellung der bisherigen Entdeckungen ꝛc. Hamburg 1824. Darſtellung der neuen Entdeckungen

über die Elektricität und den Magnetismus, durch Ampère und Babinet. Leipzig 1822. v. Althaus über den Elektro-Magnetismus. Heidelberg 1821. Handbuch der dynamiſchen Elektricität von Demonferrand. Leipzig 1824. Fechner's Elementarbuch des Elektro-Magnetismus. Leipzig 1830. Reichhaltig ſind über dieſen Gegenſtand: Gilb. Ann. vom B. 66 und Schweigg. J. vom B. 29 angefangen, Ueber allgemeine elektro-magnetiſche Apparate ſiehe: Gilb. Ann. 67. 113. Zeitſchr. 1. 200, vorzüglich Schweigg. J. 46. 1. Kaſtn. Arch. 13 49; 14. 273; Pogg. Ann. 28. 586. Sehr vollſtändig handelt über Elektro-Magnetismus Gehler's Wörterbuch 3.

C. Chemiſche Wirkungen des elektriſchen Stromes.

144. Zu den wichtigſten Wirkungen elektriſcher Ströme gehören die Zerlegungen chemiſch zuſammengeſetzter Stoffe. Sie werden hervorgebracht, indem man den elektriſchen Strom durch den zu zerlegenden Körper leitet. Am beſten eignet ſich dazu der Strom einer Volta'ſchen Säule, doch können dieſelben Effecte unter Anwendung einiger durch die Natur der Sache gebotenen Kunſtgriffe auch mit dem aus jeder andern Elektricitätsquelle entſpringenden Strome, namentlich mit dem Strome einer Elektriſir-Maſchine erhalten werden. In der Regel, und insbeſondere bei den Zerlegungen der Körper mittelſt der Volta'ſchen Säule werden dieſe ſo in den elektriſchen Kreis eingeſchoben, daß die poſitive Elektricität ſelbe nach einer, die negative nach der entgegengeſetzten Richtung durchſtrömt; doch iſt dieſes nicht im Allgemeinen nothwendig, ſondern es genügt ſchon entweder der poſitive oder der negative continuirlich abfließende Strom für ſich allein. Damit ein chemiſch zuſammengeſetzter Körper durch den elektriſchen Strom zerlegt werden könne, muß er vor Allem die Elektricität leiten; dann müſſen ſeine Theilchen eine hinreichende Beweglichkeit haben, mithin entweder unmittelbar oder mit Hilfe eines Auflöſungsmittels im tropfbaren Zuſtande ſich befinden; allein nicht jeder Körper, bei dem dieſe Bedingungen eintreffen, wird deßhalb ſchon durch einen elektriſchen Strom, unter welcher Form dieſer auch angewendet werden möge, zerſetzt; man unterſcheidet daher die durch ſtrömende Elektricität zerſetzbaren zuſammengeſetzten Stoffe, von jenen die es nicht ſind. Die erſteren nennt man nach der von Faraday eingeführten Terminologie Elektrolyte, und die Beſtandtheile, in welche ein Elektrolyt durch den elektriſchen Strom zerlegt wird, Jonen. Der Act der Trennung der Jonen heißt Elektrolyſirung. Gibt es mehrere Verbindungsſtufen derſelben Beſtandtheile, ſo iſt, wie die Erfahrung lehrt, höchſtens nur eine derſelben ein Elektrolyt; auch gibt es Stoffe, die bis jetzt nicht als Jonen erſchienen ſind.

145. Das einfachſte Beiſpiel einer Elektrolyſirung bietet das Waſſer dar. Verbindet man nämlich zwei in Waſſer tauchende Platindrähte mit den Polen einer Volta'ſchen Batterie, ſo ſieht man nach Schließung der Kette, zumal wenn die Leitungsfähigkeit des Waſſers durch Zuſatz von etwas Schwefelſäure erhöht worden iſt, an dieſen Drähten reichlich Gasblaſen ſich bilden und aufſteigen; bei Oeffnung

der Kette hört dieſer Vorgang gleich auf. Um die Beſchaffenheit der Gaſe und das quantitative Verhältniß, in welchem ſie ſich entwickeln, bequem unterſuchen zu können, bedient man ſich eines Apparates von der Einrichtung des in Fig. 251 abgebildeten, der eine kleine pneumatiſche Wanne vorſtellt, in welche zwei aus Glasröhren verfertigte und mit Volumsſcalen verſehene Recipienten eingeſetzt ſind, deren Mündungen über den Enden der durch den Boden der Wanne geführten, gerade aufſteigenden Platindrähte oder auch Platinplatten ſich befinden. Die erhaltenen Gaſe charakteriſiren ſich als Sauerſtoff- und als Waſſerſtoffgas, und erſcheinen gerade in dem Verhältniſſe, in welchem ſie Waſſer bilden, wenigſtens in ſo fern man von der geringen Menge atmoſphäriſcher Luft, die ſich aus der Flüſſigkeit, in der ſie abſorbirt war, in Freiheit ſetzen konnte, und von dem Verluſte, den die entſtehenden Gaſe durch Abſorption von Seite der Flüſſigkeit erlitten haben, abſtrahirt. Hier iſt alſo ohne Zweifel eine Zerlegung des Waſſers durch den elektriſchen Strom vor ſich gegangen. Aller Sauerſtoff erſcheint ſtets an dem Drahte, der mit dem poſitiven Pole der Batterie in Verbindung ſteht, und der Waſſerſtoff an dem andern Drahte. Dieſer Umſtand hat dem poſitiven Pole der Volta'ſchen Säule die Benennung Sauerſtoffpol, und dem negativen die Benennung Waſſerſtoffpol zugezogen. Endiget ſich der vom poſitiven Pole ausgehende Leitungsdraht im Waſſer in ein leicht oxydirbares Metall, ſo erſcheint dann kein Sauerſtoff, aber das Metall wird oxydirt.

Mit einer einfachen Volta'ſchen Kette erhält man die Zerlegung des Waſſers nicht leicht, weil der große Widerſtand des Waſſers gegen jenen im Elemente die Intenſität des Stromes zu ſehr herabſetzt. Indeſſen erhält man nach Andrews (Pogg. Ann. 41. 166) doch Spuren davon, wenn man einen der Polardrähte in eine Platinſpitze, den andern in eine Platinplatte ausgehen läßt, und die Spitze der Platte möglichſt nahe ſtellt. Es ſcheint, daß die in ſo geringer Menge ſich entwickelnden Gaſe bei ihrem Entſtehen ſogleich von der Flüſſigkeit abſorbirt werden, wenn es nicht etwa gar eine Grenze gibt, über welche die Stromintenſität ſich erheben muß, um eine Zerſetzung zu bewirken. Dagegen zeigt ſich die Zerlegung des Waſſers in der Flüſſigkeit ſelbſt, womit eine einfache Kette geladen iſt, wenn man die Metalle derſelben, z. B. Zink und Kupfer, außer der Flüſſigkeit leitend verbindet, und zwar wird der Waſſerſtoff am Kupfer, der Sauerſtoff am Zink entwickelt, aber gleich zur Oxydirung des letzteren verwendet. Hiernach erklärt ſich der bereits in (109) beſchriebene Verſuch. Ein Gleiches geht in jeder einzelnen Zelle der Volta'ſchen Säule nach deren gewöhnlicher Einrichtung, wo ſie aus Zink, Kupfer und verdünnter Säure beſteht, vor ſich. Da der (poſitive) elektriſche Strom im Schließungsleiter der Säule vom poſitiven Pole zum negativen, in der Säule ſelbſt vom negativen zum poſitiven geht, oder anders ausgedrückt: da der Strom dort, wo ſich in der Säule Kupfer und Zink metalliſch berühren, die Richtung vom Kupfer und Zink hat, ſo kann man auch allgemein ſagen, der Waſſerſtoff erſcheine ſo, als ob er in der Richtung des Stromes fortgeführt würde, und der Sauerſtoff ſo, als ob er dem Strome entgegen ginge. Merkwürdig iſt in Betreff der Gasentwickelung Becquerel's einfache Kette bloß aus Säure (Salpeterſäure) und Baſis (Aetzkali oder Natron) beſtehend. Man erhält ſie, wenn

man eine am unteren Ende mit einem Thonſtöpſel, den man mit concentrirter Aetzkalilöſung befeuchtet hat, verſchloſſene Glasröhre mit eben ſolcher Aetzkalilöſung füllt, dann in ein Gefäß, worin ſich concentrirte Salpeterſäure befindet, ſetzt, und Alkali und Säure mittelſt eines in Platinplatten ausgehenden leitenden Bogens verbindet. An der Platinplatte in der alkaliſchen Löſung entwickelt ſich reichlich Sauerſtoffgas, an jener in der Säure erſcheint kein Waſſerſtoffgas, allein deſſen ungeachtet findet Ausſcheidung von Waſſerſtoff Statt, denn es wird durch ſelben der Salpeterſäure Sauerſtoff entzogen, was ſich durch die Färbung der Flüſſigkeit in Folge des Ueberganges eines Theiles der Salpeterſäure in ſalpetrige Säure zu erkennen gibt. Hier geht der Strom in der Platinleitung von dem Alkali zur Säure, was auch ein eingeſchalteter Multiplicator anzeigt.

Mittelſt gemeiner oder Reibungs-Elektricität hat man die Waſſerzerſetzung bis jetzt noch nicht mit voller Sicherheit zu Stande bringen können, oder wenn es je anging, gewiß nur in einem äußerſt ſchwachen Grade. Man bediente ſich dazu feiner, in Glasröhren eingeſchloſſener Platindrähte, deren Spitzen hervorragten. Es kann aber dabei ſogar an einer und derſelben Spitze ſich Sauerſtoff und Waſſerſtoff zugleich entwickeln, wie Wollaſton beobachtet hat. Dieſen Effect muß man mit dem oben beſchriebenen nicht in eine Linie ſtellen, denn das Weſen der elektrochemiſchen Zerſetzung liegt gerade darin, daß hierbei die Zerſetzungsproducte nicht vermengt, ſondern geſondert erhalten werden. Aber ſelbſt wenn es bewieſen wäre, daß das Waſſer durch Maſchinenelektricität nicht zerſetzt werden könne, ſo würde dieß keinen weſentlichen Unterſchied zwiſchen dem Strome dieſer und der galvaniſchen Elektricität begründen, da Zerſetzungen anderer Stoffe durch Reibungselektricität angehen, ſondern der Grund des Nichtgelingens der Waſſerzerſetzung lediglich in quantitativen Verhältniſſen der Reibungselektricität zu dem Widerſtande, den der zu zerſetzende Körper leiſtet, zu ſuchen ſeyn.

146. Auf ähnliche Weiſe, wie in dem ſo eben angeführten Falle das Waſſer, verhalten ſich noch viele andere zuſammengeſetzte Stoffe unter dem Einfluſſe eines elektriſchen Stromes; ſie zerfallen in die Jonen, aus denen ſie beſtehen. So gibt Salzſäure am poſitiven Pole Chlor, am negativen Waſſerſtoff; Kali oder Natron zerlegen ſich, wie Davy zuerſt fand, und eben dadurch die zuſammengeſetzte Natur dieſer Alkalien nachwies, in Sauerſtoff, der zum poſitiven Pole wandert und in das Metall, welches am negativen Pole erſcheint; ſchwefelſaures Natron (Glauberſalz) ſetzt am poſitiven Pole freie Säure, am negativen das Alkali ab, u. dgl. m. Doch muß hier ſogleich bemerkt werden, daß die Zerſetzungsproducte ſich nicht immer ſo an den Polen einfinden, wie ſie durch den elektriſchen Strom geſondert werden. Gleichwie nämlich ein Polardraht aus einem leicht oxydirbaren Metalle, von dem bei der Waſſerzerſetzung an ihm auftretenden Sauerſtoffe angegriffen wird, daher der Sauerſtoff ausbleibt, während der Waſſerſtoff, der zu einem ſolchen Metalle keine große Verwandtſchaft zeigt, ſich an demſelben entwickelt; eben ſo können die Jonen nicht bloß mit dem von der Säule ausgehenden Stromleiter, ſondern auch mit den Beſtandtheilen des Auflöſungsmittels der zu zerſetzenden Subſtanz, indem dieſes gleichzeitig zerlegt wird, in Verbindung treten,

wodurch die wahre Beſchaffenheit der durch den elektriſchen Strom unmittelbar erhaltenen Zerſetzungsproducte und die Richtung, welche ſie bezüglich der Pole einſchlagen, in Zweifel geſtellt werden kann; ja es läßt ſich der Fall denken, daß durch den elektriſchen Strom eigentlich nur das Auflöſungsmittel zerlegt wird, und erſt die aus demſelben entſpringenden Jonen die Zerlegung der aufgelöſten Subſtanz herbeiführen, welche man hier fälſchlich auf Rechnung des elektriſchen Stromes ſetzen würde. In dieſer Hinſicht ſpielt das Waſſer eine wichtige Rolle. So gibt z. B. wäſſerige Jodkaliumlöſung am poſitiven Pole Jod, am negativen Waſſerſtoffgas, während das Kalium mit dem Sauerſtoffe des Waſſers Kali bildet; ſchwefelſaures Kupferoxyd in Waſſer gelöſt, gibt am poſitiven Pole Sauerſtoffgas, am negativen metalliſches Kupfer, während in der Flüſſigkeit ſich freie Säure vorfindet; eſſigſaures Bleioxyd gibt am poſitiven Pole Bleihyperoxyd, am negativen Pole metalliſches Blei. In den beiden letzteren Fällen iſt wohl der Analogie mit der Zerlegung des ſchwefelſauren Natrons und anderen ähnlichen Fällen gemäß anzunehmen, daß von Seite des elektriſchen Stromes das Metalloxyd zu dem negativen, die Säure zu dem poſitiven Pole zu gehen beſtimmt ſey, allein der Waſſerſtoff des Waſſers zur Reduction des Metalles diene, ſo wie bei der Zerlegung des eſſigſauren Bleioxydes der Sauerſtoff des Waſſers ſich mit dem Blei verbindet.

Jodkaliumlöſung wird durch einen ſehr ſchwachen elektriſchen Strom zerſetzt, iſt daher ein empfindliches Reagens für ſtrömende Elektricität, dem Froſchpräparate (110) vergleichbar. Die durch das frei werdende Jod bewirkte Färbung der Maſſe trägt vornehmlich zur leichten Wahrnehmung der beginnenden Zerlegung bei. Sowohl die Becquerel'ſche Kette, wie auch eine zamboniſche Säule zerſetzt Jodkalium, letztere wenn ſie etwas kräftiger wirkt, auch Glauberſalzlöſung (Rieß in Dove's Rep. 2. 48). Dieſe Löſungen werden nach Faraday's Methode in Fließpapier aufgeſaugt zwiſchen Staniolſpitzen auf eine Glastafel gelegt. Bringt man zwiſchen eine kleine längliche Platin- und eine gleiche Zinkplatte, die ſich nicht metalliſch berühren, auf der einen Seite etwas Jodkaliumlöſung, auf der anderen verdünnte Schwefelſäure, der man etwas Salpeterſäure zugeſetzt hat, ſo findet beiderſeits Zerlegung Statt; die verdünnte Säure gibt am Zink Sauerſtoff, am Platin Waſſerſtoff; das Jodkalium am Platin Jod, am Zink freies Alkali, deſſen Auftreten ſich an einem Reagenzpapiere (Curcumäpapier) nachweiſen läßt. Berühren ſich aber das Platin und Zink metalliſch, ſo erfolgt gleichfalls Zerlegung des Jodkaliums, aber die Jonen erſcheinen in umgekehrter Ordnung. Die Zerlegung des Jodkaliums, wie auch des ſchwefelſauren Natrons läßt ſich ohne Schwierigkeit mittelſt der Reibungselektricität bewerkſtelligen. Man muß jedoch bei letzterem Stoffe das Ueberſchlagen von Funken vermeiden, weil dieſe in der Luft Salpeterſäure bilden, und hiedurch das Reſultat zweifelhaft oder geſtört wird. Bringt man ein Stück Lackmuspapier, verbunden mit einem Stücke Curcumäpapier, beide mit Glauberſalzlöſung befeuchtet, zwiſchen zwei Platindrähte, deren einer mit dem Conductor, der andere mit dem Reibzeuge in leitender Verbindung ſteht, ſo zeigen ſich ſchon nach wenigen Umdrehungen der Scheibe an der Eintrittsſtelle der poſitiven Elektricität, wo ſich das Lackmuspapier befinden muß,

Spuren von Säure, an der Eintrittsſtelle der negativen Elektricität Spuren von Alkali. Man kann auch die Verbindung mit dem Reibzeuge weglaſſen, wenn man die Elektricität durch eine entgegengeſtellte Spitze abführt. Mit einer Volta'ſchen Säule läßt ſich ein ſolcher Verſuch nicht wohl anſtellen, weil ihr einfacher Strom zu ſchwach iſt; doch iſt es geſtattet, anzunehmen, derſelbe würde auch gelingen, wenn man im Stande wäre, den einfachen Strom hinreichend zu ſteigern.

Elektrochemiſche Zerlegungen ſtellen ſich in der Natur viel häufiger ein, als man beim erſten Blicke wohl glauben möchte. Wo immer zwei heterogene Körper ſich berühren, entſteht eine galvaniſche Kette, die durch einen dritten Körper ausgeladen wird, und chemiſche Wirkungen erzeugt. So ſchmeckt Wein aus einer zinnernen Kanne anders, als aus einem gläſernen oder thönernen Gefäße, weil hier die Flüſſigkeit der Lippen und der Wein eine Kette bilden, die durch das Zinn entladen wird; Kupferplatten mit eiſernen Nägeln zuſammengenagelt gehen bald zu Grunde; gelöthete Gefäße werden zuerſt an den Löthſtellen matt; Queckſilber mit einem anderen Metalle gemiſcht, oxydirt ſich leichter, als wenn es rein iſt; bleierne, kalkführendes Waſſer enthaltende Röhren werden nur an jenen Stellen durch abgeſetzten Kalk verſtopft, wo ſie zuſammengelöthet ſind.

147. Um den Hergang elektrochemiſcher Zerſetzung und die davon abhängenden Erſcheinungen aus dem rechten Geſichtspuncte zu betrachten, iſt es zweckdienlich die in hohem Grade naturgemäße Theorie derſelben, zu welcher ſchon Grotthuß den Grund gelegt hat, die aber ſpäter von Faraday ausgebildet und gewiſſermaßen berichtiget wurde, vor Augen zu haben. Es ſeyen A, A′, A″, A‴,.... Theilchen des einen Jons, B, B′, B″, B‴,.... Theilchen des andern Jons eines Elektrolyten, mithin AB, A′B′, A″B″, A‴B‴,.... die Theilchen des Elektrolyten ſelbſt. Die Art der Elektrolyſirung läßt ſich nicht anders begreifen, als durch die Annahme, daß die Verwandtſchaft der Theilchen B, B′, B″,... zu den in der Richtnng des Stromes liegenden A′, A″, A‴,... und eben ſo die Verwandtſchaft der letzteren zu den in der entgegengeſetzten Richtung liegenden unter den erſteren, durch den Einfluß des elektriſchen Stromes erhöht werde. Dieß hat zur Folge, daß die anfängliche Gruppirung einer gewiſſen Anzahl unmittelbar auf einander folgenden Theilchen des Elektrolyten, z. B. AB, A′B′, A″B″, A‴B‴ im nächſten Augenblicke in

A, A′B, A″B′, A‴B″, B‴

übergeht u. ſ. w. Hier kommen nun folgende Fälle in Betrachtung: 1) Die an den äußerſten Puncten der neugebildeten Reihe ſtehenden Theilchen A und B‴ finden keinen Stoff, mit dem ſie eine chemiſche Verbindung eingehen können. In dieſem Falle werden ſie ausgeſchieden und in Freiheit geſetzt. 2) Sie grenzen an Theilchen eines im Schließungskreiſe befindlichen, d. h. als Elektricitätsleiter dienenden heterogenen Stoffes, zu welchem ſie Verwandtſchaft haben. Dann gehen ſie mit dieſen Theilchen eine Verbindung ein. Nun kommt es wieder darauf an, ob dieſe Verbindung in der umgebenden Subſtanz löslich iſt, oder nicht. Iſt letzteres der Fall, ſo wird die unlösliche Verbindung ausgeſchieden; findet 3) der andere Fall Statt, ſo wird

der Austauſch der Theilchen auch durch das neue Medium hindurch nach derſelben Richtung fortgeſetzt, bis ſich endlich, was jederzeit eintritt, ein Stoff vorfindet, der dieſe äußerſten Theilchen entweder in Freiheit läßt, oder vollkommen feſſelt.

Als Beleg für 1) dient die Zerſetzung des Waſſers mittelſt Platindrähten. Es iſt aber gar nicht nöthig, daß die Körper, woran die Jonen in Freiheit geſetzt werden, feſte Körper ſeyen; tropfbare können denſelben Dienſt leiſten, wie nachſtehender von Faraday herrührender Verſuch zeigt: Man theile die obere Hälfte eines Glasgefäßes A (Fig. 252) durch eine Glimmerplatte in zwei Abtheilungen a und b, fülle in dasſelbe eine ſtarke Löſung ſchwefelſaurer Bittererde ein, bis ſie etwa 1 Zoll über den unteren Rand der Scheidewand reicht; und gieße dann in eine Abtheilung auf die Salzlöſung behutſam eine Schichte Waſſer. Taucht man nun in die bloß Salzlöſung enthaltende Abtheilung b den poſitiven, in die andere a den negativen Polardraht, deren jeder in eine Platinplatte ſich endiget, die zu letzterem gehörende aber ſo, daß ſie nicht bis zur Salzlöſung hinabreicht; ſo wird alſogleich eine Blaſenentwicklung eintreten, und die Salzlöſung zerſetzt werden. Aber die an der Seite des negativen Poles frei werdende Bittererde häuft ſich nicht an der Polplatte an, ſondern bleibt an der Grenzfläche des Waſſers und der Salzlöſung. Zum Beweiſe für 2) und 3) vertheile man die zu zerſetzende Flüſſigkeit, z. B. eine wäſſerige Glauberſalzlöſung, in mehrere Gefäße A, B, C (Fig. 253), ſtelle dieſelben in eine Reihe zuſammen, verbinde ſie mit einander leitend durch angefeuchtete Asbeſtfäden, und tauche dann die Polardrähte a und f in die zwei äußerſten Gefäße, ſo findet auch nur in dieſen ein Freiwerden der Beſtandtheile des zerſetzbaren Stoffes Statt; es erſcheint nämlich, wenn a vom poſitiven Pol kommt, in A Säure, in C Alkali, in B keines von beiden, denn das Ganze ſtellt gleichſam nur ein Gefäß, das mit Glauberſalzlöſung gefüllt iſt, vor. Wollte man aber ſtatt des Asbeſtes Drähte nehmen, ſo würde, wie es auch die Erfahrung wirklich beſtätiget, an a, c, e die Gegenwart freier Säure, an b, d, f jene von Alkali ſich durch die Reaction der Flüſſigkeit in ihrer Nähe kund geben. Füllt man nun, während A und C Glauberſalzlöſung enthalten, und die Verbindung der Gefäße unter einander mittelſt der vorerwähnten, mit Waſſer getränkten Asbeſtfäden geſchieht, das mittlere Gefäß mit Barytwaſſer, ſo zeigt ſich bei f Alkali, allein bei a keine Säure, ſondern es fällt in dem Gefäße B unlöslicher ſchwefelſaurer Baryt nieder. Füllt man endlich, während bc und de mit Salzlöſung getränkte Asbeſtfäden ſind, das mittlere Gefäß B mit Veilchenſyrup, ſo bemerkt man daran keine Spur der Einwirkung einer Säure oder eines Alkali, ungeachtet man annehmen darf, es werde die Säure von e nach d, das Alkali von b nach c übergeführt. So wunderbar auch eine ſolche Ueberführung ohne näheres Eingehen in den eigentlichen Verlauf der Sache erſcheinen mag, ſo iſt doch dieſelbe nicht nur eine Folge der obigen theoretiſchen Betrachtung, ſondern man ſieht ein, daß die Möglichkeit der Ueberführung durch die Verwandtſchaft des übergeführten Stoffes zu dem Medium, durch welches er geht, bedingt wird, und um ſo beſſer erfolgt, je kräftiger dieſe Verwandtſchaft iſt. So z. B. hat Faraday gefunden, daß, wenn verdünnte Schwefelſäure und eine ſolche Quantität einer wäſſerigen Glauberſalzlöſung, welche eben ſo viel Säure enthielt, zugleich einem und demſelben elektriſchen Strom ausgeſetzt wurden, von der Schwefelſäure in erſterer Flüſſigkeit $2^1/_2$ — 3 mal weniger von einem Pol zum anderen fortgeführt wurde, als von eben dieſer Säure in letzterer, ungeachtet die Ver-

wandtſchaft der Schwefelſäure zum Natrum viel größer iſt, als zum Waſſer.

148. Man glaubte früher, daß die Verſchiedenheit der Anziehung, welche die Pole oder Enden der Polardrähte in Folge des elektriſchen Stromes auf die Beſtandtheile des zu zerlegenden Stoffes ausüben, die Kräfte ſeyen, welche die heterogenen Theilchen dieſes Stoffes nöthigen, ihre relative Stellung zu ändern. In Folge deſſen dachte man ſich dieſe Theilchen ſelbſt mit poſitiver und negativer Elektricität begabt, und ſah die Sache ſo an, als würden die negativ elektriſchen Theilchen zum poſitiven, und die poſitiv elektriſchen zum negativen Pole der Säule ſtärker hingezogen, als ſie unter ſich zuſammenhängen. Einen Stoff, der zum poſitiven Pole wandert, während ein anderer, der mit ihm verbunden war, zum negativen Pole geht, nannte man in Bezug auf letzteren elektro-negativ, und dieſen in Bezug auf jenen elektro-poſitiv. Allein Faraday's wohlgewählte Verſuche (147) haben gelehrt, daß die Producte der elektrochemiſchen Zerlegung nicht von den Polen angezogen, ſondern nur an ihnen ausgeſchieden werden, und daß die Pole hiebei von jeder andern in dem Schließungskreiſe vorkommenden Subſtanz vertreten werden können, ſobald nur dieſe mit dem ausgeſtoßenen Jon keine chemiſche Verbindung eingeht. Alles kommt auf die Richtung des elektriſchen Stromes an. Die Pole ſind nur als die Thore zu betrachten, durch welche derſelbe ein und austritt, oder von welchen aus vielmehr eine gewiſſe Wirkung, deren Urſache wir mit dem Worte Strom bezeichnen, ſich fortpflanzt. Faraday hat daher für dieſe Eintritts- oder Austrittswege der elektriſchen Action paſſendere Benennungen vorgeſchlagen; er nennt ſie Elektroden: die poſitive Elektrode insbeſondere heißt nach ihm die Anode, die negative die Kathode. Ein Jon, welches zur Anode wandert, heißt Anion, und ein zur Kathode gehendes Kation. So erſcheint alſo der Sauerſtoff bei der Waſſerzerlegung, wie auch in allen übrigen Fällen als Anion, der Waſſerſtoff als Kation.

Der ſogenannten elektrochemiſchen Anſicht gemäß ſucht man alle einfachen Stoffe in eine ſolche Reihe zu bringen, daß jeder vorangehende gegen jeden folgenden elektro-negativ iſt, mithin bei der Aufhebung der Verbindung mit letzteren durch Einfluß ſtrömender Elektricität an dem poſitiven Pole auftritt, der andere dagegen am negativen. Nach Berzelius (Lehrbuch der Chemie, 3. Auflage, 5 Bd) wäre ungefähr dieſe Reihe (für die im Jahre 1835 bekannten 54 einfachen Stoffe) folgende: Sauerſtoff, Schwefel, Stickſtoff, Fluor, Chlor, Brom, Jod, Selen, Phosphor, Arſenik, Chrom, Vanadin, Molybdän, Wolfram, Bor, Kohlenſtoff, Antimon, Tellur, Tantal, Titan, Kieſel, Waſſerſtoff, Gold, Osmium, Iridium, Platin, Rhodium, Palladium, Queckſilber, Silber, Kupfer, Uran, Wismuth, Zinn, Blei, Cadmium, Kobalt, Nickel, Eiſen, Zink, Mangan, Cer, Thorium, Zirkonium, Aluminium, Yttrium, Beryllium, Magneſium, Calcium, Strontium, Baryum, Lithium, Natrium, Kalium. Nach dieſer Anſicht wird bei der Zerlegung eines Salzes der negative Stoff als die Säure, der poſitive als die Baſis betrachtet; der negative Beſtandtheil einer Säure

muß als das ſäurende Princip, der poſitive als das Radical gelten. Sonach wäre in der Waſſerſtoffſäure der Waſſerſtoff das Radical, in den Sauerſtoffſäuren der Sauerſtoff (der negativſte aller Stoffe) das ſäurende Princip, mithin eine Eintheilung der Säuren, bei welcher Sauerſtoff- und Waſſerſtoffſäuren als Glieder erſcheinen, logiſch unrichtig und daher unzuläßig. Die ſchweren Metalle theilt Berzelius, je nachdem ſie eine größere Neigung haben, in den negativen oder in den poſitiven Beſtandtheil einer ſalzartigen Verbindung einzugehen, d. h. eine Säure oder eine Baſis zu bilden, in elektronegative und in elektropoſitive Metalle. Erſtere ſind nach dieſem großen Chemiker Selen (welches von ihm den Metallen beigezählt wird), Tellur, Arſenik, Chrom, Vanadin, Molybdän, Wolfram, Antimon, Tantal und Titan. Die übrigen ſchweren Metalle werden als elektropoſitive angeſehen.

149. Faraday's Arbeiten haben auf das wichtige, ſeither auch durch Jacobi's beſonders genaue Verſuche beſtätigte Geſetz geführt, daß der chemiſche Effect eines elektriſchen Stromes, alſo die Quantität der binnen einer beſtimmten Zeit zerſetzten Menge eines Elektrolyten, der Kraft des Stromes, ſo wie ſie durch das Ohm'ſche Geſetz gegeben und durch Galvanometer angezeigt wird, gerade proportionirt iſt. Da man nun aber das Ohm'ſche Geſetz nach den in 120 ausgeſprochenen Vorausſetzungen, wie eine leichte Ueberlegung lehrt, auch ſo auffaſſen kann, daß man die Kraft eines Stromes überhaupt als den Ausdruck der Elektricitätsmenge anſieht, die durch jeden Querſchnitt der Kette binnen einer feſtgeſetzten Zeit geführt wird, ſo darf man ſagen, eine beſtimmte Elektricitätsmenge zerſetze immer dieſelbe Quantität eines gegebenen Stoffes, dieſe Elektricitätsmenge mag ſchnell oder langſam, mit größerer oder geringerer Dichte durchgeführt werden, vorausgeſetzt, daß ſie überhaupt die zur Erzeugung elektrolytiſcher Wirkungen nöthige Intenſität hat. Die Leitungsfähigkeit der Polardrähte oder des feuchten Leiters kann wohl die Schnelligkeit des Stromes modificiren, aber nicht die Quantität der zerſetzten Maſſe ändern. Wird ein Strom in mehrere einzelne Ströme getheilt, ſo wirken dieſe Ströme zuſammen eben ſo, wie der ganze Strom für ſich. Ein Stoff, der durch ſtrömende Elektricität leicht zerſetzbar und immer in derſelben Qualität zu haben iſt, und deſſen Zerlegungsproducte ſich leicht meſſen laſſen, kann demnach zu einem Maßſtabe für die in das Spiel getretene Quantität dieſer Elektricität, oder, mit Rückſicht auf die Zeit, zu einem Maßſtabe ihrer Stärke, mithin, wie Faraday ſagt, zu einem Voltameter dienen. Ein ſolcher Stoff iſt das Waſſer, und jeder Apparat, worin man dieſes durch einen elektriſchen Strom zerſetzen und die daraus entſtandenen Gaſe meſſen kann, iſt demnach ein paſſendes Voltameter.

Faraday wendete bei Verſuchen über die Zerſetzung des Waſſers verſchiedene Gefäße zum Auffangen der entwickelten Gaſe an, immer aber gingen die Platindrähte, welche den elektriſchen Strom ins Waſſer leiteten, in Platten aus. Er fand dieſelbe elektrolytiſche Wirkung des Stromes, dieſe Platten mochten 0.7 Zoll breit und 4 Z. lang, 0.5 Z. breit und 0.8 Z. lang oder gar 0.02 Z. breit und 0.5 Z. lang ſeyn, nur

mußte dafür geſorgt werden, daß ſich die Gaſe nicht wieder zu Waſſer verbanden, und daß die Löſung derſelben in Waſſer möglich gering ausfiel. Als er drei Zerſetzungsinſtrumente aufſtellte, wo ſich der elektriſche Strom, nachdem er durch das erſte gegangen war, in zwei andere zertheilen und ſich hierauf wieder vereinigen mußte, ergab ſich die Summe der Gaſe in den zwei letzten Gefäßen gleich jenem in dem erſten. Es zeigte ſich immer dasſelbe Reſultat, das Waſſer mochte durch Schwefelſäure, durch Aetzkali oder Aetznatrum, durch Bitterſalz oder Glauberſalz leitend gemacht worden ſeyn. Eben ſo wenig fand ſich ein Unterſchied in der zerſetzenden Kraft der Elektricität, der poſitive Polardraht mochte aus Platin, Kupfer oder Zink beſtehen. (Faraday in Pogg. Ann. 33. 316.) Es iſt gleichgiltig wie die Batterie conſtruirt ſey, und aus welchem Materiale ſie beſtehe; ſobald ſie mit einer andern verglichen die Magnetnadel des gleichzeitig mit dem Waſſerzerſetzungsapparate in den Schließungskreis eingeſchalteten Galvanometers um gleichviel ablenkt, zerſetzt ſie eben ſo viel Waſſer als dieſe. (Vergl. Jacobi in Pogg. Ann. 48. 26.)

Bei dem Gebrauche des Voltameters iſt es nicht nöthig beide Gaſe getrennt aufzufangen, es wäre denn zur Controlle des Reſultates. Um die Füllung der Meßröhre nach jedem Verſuche mit Bequemlichkeit verrichten zu können, ſetzt man ſie auf den Hals einer Flaſche, die mehr als noch einmal ſo viel Flüſſigkeit faßt, als in die Röhre hineingeht, an den Flaſchenhals dicht anſchließend, dergeſtalt, daß wenn man die Flaſche umkehrt, die Mündung der Röhre ſtets unter Waſſer bleibt. Durch den Boden der Flaſche führt man die in Platinplatten ſich endigenden Elektroden. Zum Entweichen der Luft und der Gaſe bei dem Umleeren iſt nahe am oberen Theile der Flaſche eine ſehr kleine Oeffnung gebohrt. Dem zu elektrolyſirenden Waſſer iſt ſo viel Schwefelſäure zuzuſetzen, daß die Flüſſigkeit die Dichte 1,34 bekommt. Dieſe Miſchung hat ſich Faraday als die am wenigſten Gas abſorbirende bewährt. Eine ſtarke Säure abſorbirt eine beträchtliche Menge Sauerſtoffgas.

150. Eine fernere, höchſt folgenreiche Entdeckung Faraday's iſt das Geſetz, daß die Quantitäten der Jonen, welche ein und derſelbe elektriſche Strom aus verſchiedenen Elektrolyten entwickelt, unter einander genau in denſelben Verhältniſſen ſtehen, in welchen ſie ſich chemiſch verbinden, d. h. daß ſie unter einander verglichen ſämmtlich chemiſche Aequivalente ſind. Bezüglich der Zerſetzungsproducte eines einzelnen Elektrolyten iſt dieß für ſich klar, allein von einem Producte der Zerlegung eines Elektrolyten in Vergleichung mit dem, welches aus der Zerlegung irgend eines zweiten Elektrolyten entſpringt, läßt ſich das angeführte Geſetz ohne empiriſche Nachweiſung nicht annehmen. Man nennt es das Geſetz der beſtimmten (feſten) elektrolytiſchen Action. Es läßt ſich kurz ſo ausſprechen: Zur Abſcheidung chemiſcher Aequivalente aus ihren Verbindungen ſind gleiche Elektricitätsmengen erforderlich, oder: die Ströme, durch welche gleiche Quantitäten verſchiedener Stoffe ausgeſchieden werden, verhalten ſich verkehrt wie die Miſchungsgewichte dieſer Stoffe.

Um die Richtigkeit dieſes Geſetzes an einer größeren Anzahl und an verſchiedenartigen Fällen zu bekräftigen, war es nicht hinreichend bloß wäſſerige Löſungen der Einwirkung ſtrömender Elektricität auszuſetzen, denn wenn gleich dasſelbe bei der Zerlegung der Chlor- und Jodwaſ-

ſerſtoffſäure u. dgl. ſich bewährt, ſo iſt doch in andern Fällen die dabei Statt findende Waſſerzerlegung augenſcheinlich gerade der primäre, und die Zerlegung des aufgelöſten Stoffes nur der ſecundäre Proceß. Es mußte die Theilnahme des Waſſers gänzlich ausgeſchloſſen werden. Hier kam die ſchon früher gemachte intereſſante Bemerkung Faraday's zu Hilfe, daß eine bedeutende Anzahl von Stoffen, welche in feſtem Zuſtande die im Vergleiche mit der Maſchinenelektricität nur mit ſchwacher Spannung verſehene Elektricität der Volta'ſchen Säule nicht leiten, im geſchmolzenen Zuſtande ſich in gute Elektricitätsleiter verwandeln, und während ſie die Elektricität leiten, auch zerſetzt werden. Als Beiſpiel mag folgendes Ergebniß eines Faraday'ſchen Verſuches dienen. Bei der Zerſetzung von geſchmolzenem Zinnchlorür fand er, daß das Gewicht der negativen Elektrode durch das an dem Platindraht frei gewordene und damit verbundene Zinn um 3,2 Gran zugenommen hatte. Durch denſelben Strom wurden 3,85 engl. Kub. Zoll Gaſe aus Waſſer erhalten, welche 0,49742 Gran wogen, indem 100 Kub. Z. ſolchen Gasgemenges 12,92 Gran wiegen. Setzt man das Aequivalent des Waſſerſtoffes = 1, ſo wird das Aequivalent des Waſſers = 9 und man hätte, wenn man das Aequivalent des Zinnes x nennt, unter Vorausſetzung der Richtigkeit des obigen Geſetzes

$0{,}49742 : 3{,}2 = 9 : x$ woraus $x = 57{,}9$ folgt, eine Zahl, die dem Miſchungsgewichte des Zinnes ſo nahe kommt, daß man die Differenz den unvermeidlichen Fehlern eines Verſuches dieſer Art beimeſſen darf.

151. Das Geſetz der feſten elektrolytiſchen Action gibt einen guten Anhaltspunct ſowohl zur Beurtheilung der chemiſchen Aequivalente, als auch des Charakters der elektrochemiſchen Zerſetzung. Producte, welche bei Gelegenheit der elektriſchen Strömung an den Elektroden ſich einfinden, und dieſem Geſetze nicht entſprechen, können nicht primäre Reſultate der Zerſetzung, ſondern nur ſecundäre Erzeugniſſe ſeyn.

Auf dieſe Gründe geſtützt ſchließt Faraday die Schwefelſäure, Phosphorſäure, Borſäure, auch Salpeterſäure und Ammoniak u. m. a. von der Reihe der Elektrolyte aus; dieß hindert aber nicht, daß ſie als Jonen auftreten. Stickſtoff, Kohlenſtoff, Phosphor, Bor, Aluminium haben ſich bis jetzt noch nicht als Jonen gezeigt.

152. Was im Voltameter vorgeht, das findet auch in jeder einzelnen Zelle eines geſchloſſenen Volta'ſchen Apparates Statt; es wird dort eine dem elektriſchen Strome angemeſſene Quantität des flüſſigen Leiters zerlegt. Iſt dieſer Apparat eine Zinkkupferſäule mit verdünnter Säure geladen, ſo muß, weil die Stärke des elektriſchen Stromes im Schließungskreiſe nothwendig überall dieſelbe iſt, die Oxydation des Zinkes, alſo der Zinkverbrauch in jeder Zelle, genau der Quantität des zerſetzten Waſſers in dem in die Kette eingeſchalteten Voltameter entſprechen. Fände es ſich, daß mehr als 1 Aequ. Zink in jeder Zelle für jedes Aequ. zerſetzten Waſſers conſumirt würde, ſo wäre dieß als ein Zeichen einer localen, von dem elektriſchen Strome der Säule independenten chemiſchen Action anzuſehen, die, wenn ſie auch auf elektriſche (jedoch locale) Strömung ſich gründet, zum Effecte der Säule nichts beiträgt.

Derlei locale Wirkungen kommen bei elektriſchen Ketten immer vor, und es handelt ſich darum, ſie auf ein Minimum herab zu ſetzen. Je niedriger dieſes ausfällt, deſto vollkommener iſt die Conſtruction der Kette. Da die Quantität des durch den in der ganzen Kette circulirenden Strom in einer Zelle zerlegten Waſſers, mithin jene des daſelbſt gebildeten Zinkoxydes der Stärke des Stromes proportionirt iſt, ſo kann ein gegebener Effect der Säule ohne eine entſprechende Zinkconſumtion nicht beſtehen; jede weitere Zinkconſumtion aber iſt localen Wirkungen zuzuſchreiben. Eine ſolche iſt die Auflöſung des Zinkes in der Flüſſigkeit bei nicht geſchloſſener Kette; daher der Nutzen des Amalgamirens der Zinkplatten. Um ein Beiſpiel einer Vergleichung des zur Erzielung des Effectes einer Säule nöthigen Zinkaufwandes mit dem wirklichen Zinkverbrauche zu geben, wählen wir jenes auf eine im größeren Maßſtabe conſtruirte Batterie ſich beziehende, welches Jacobi anführt (Pogg. Ann. 48. 56). Der galvaniſche Apparat beſtand aus 3 Batterien, jede zu 50 Paaren, nach Daniell's Princip eingerichtet, mit wohl amalgamirten Zinkplatten von 6″ Seite; die Ladung auf der Kupferſeite aus Kupfervitriol, auf der Zinkſeite aus einer etwas verdünnten Löſung von ſchwefelſaurem Kali. Der Waſſerzerſetzungsapparat enthielt 12 Paar Platinplatten, jede von 15 Qu. Zoll Fläche in geſonderten Zellen. Die Zink- und Kupferpole der 3 Batterien wurden ſo verbunden, daß das Ganze einer Batterie von 3facher Plattenfläche entſprach. Nach 7 Stunden waren 3,42 engl. Kub. Fuß Knallgas erzeugt worden und die Zinkplatten hatten 189,5 Solotnik an Gewicht verloren (1 Pf. ruſſ. = 0,7303 Wien. Pf. enthält 96 Solotnik); das Gewicht jenes Gaſes iſt 12,19 Solotnik, mithin wurde auch ein gleiches Quantum Waſſer zerſetzt. Da den 12 Waſſerzerſetzungszellen 50 Batterie-Zellen entſprechen, ſo waren zu 12 Aequ. Waſſer 50 Aequ. Zink erforderlich; dieß gibt, wenn 1 Aequ. Waſſer = 9 und 1 Aequ. Zink = 32,5 geſetzt wird, nach der Proportion: 12.9 : 50.32,5 = 12,19 : x die nöthige Zinkconſumtion x = 183,4, was einen Verluſt von 6,1 Sol., mithin 3,2 Procent der Totalconſumtion an Zink ausweiſet.

153. Die Erſcheinungen, welche die Zerlegung zuſammengeſetzter Stoffe durch Vermittelung eines Volta'ſchen Stromes begleiten, geben nicht nur nützliche Winke zur zweckmäßigſten Conſtruction eines Volta'ſchen Apparates, und laſſen die Gründe der Vortheile erkennen, welche die neueren Einrichtungen deſſelben nach Daniell, Grove u. A. gewähren, ſondern haben bereits auch auf wichtige practiſche Anwendungen geführt, als: Jacobi's Galvanoplaſtik, die von de la Rive, Böttger u. A. cultivirten Methoend Metalle oder andere leitende Subſtanzen mit Metallüberzügen zu bekleiden; Bequerel's Verfahren, Metalle aus ihren Erzen abzuſcheiden. Auch Nobili's elektrochemiſche Figuren verdienen hier erwähnt zu werden.

Ladet man eine Zinkkupferbatterie mit Kupfervitriollöſung, ſo wird bei kräftiger Wirkung in dem Troge oder in den Zellen kein Gas entwickelt, was dieſe Flüſſigkeit ſehr empfiehlt; das Hydrogen des zerlegten Waſſers dient zur Reduction des Kupfers, und der Sauerſtoff zur Oxydation des Zinkes. Das Gas, welches ſich z. B. bei dem Gebrauche der verdünnten Schwefelſäure als leitende Flüſſigkeit entbindet, iſt nicht nur läſtig, ſondern die Gasblaſen, welche an dem Kupfer hart-

näckig adhäriren, thun auch der Kräftigkeit des Stromes Eintrag. Doch kommt bei Anwendung des Kupfervitriols Zinkoxyd mit der Kupferfläche in Contact, adhärirt derſelben, wird durch das entſtehende Waſſerſtoffgas theilweiſe reducirt, es bilden ſich locale Ketten, was dem Effecte ſchadet, und die Kraft der Batterie bald namhaft ſchwächt. Durch Einſchaltung einer poröſen Scheidewand zwiſchen Kupfer und Zink in jeder Zelle wird dieſem Uebelſtande vorgebeugt, es kann kein Zinkoxyd an die Kupferplatte, und es ſetzt ſich das reducirte Kupfer rein an ſelbe ab, deren Dicke dadurch zunimmt. Dieſer Umſtand kann benützt werden, die Kupferplatten durch die Wirkung der Batterie ſelbſt erſt zu erzeugen, indem man denſelben für den Anfang dünne Platten aus einem andern wohlfeilen Metalle, Eiſen oder Blei, ſubſtituirt.

Bildet ſich der Kupferüberzug in einem geſchloſſenen Daniell'ſchen Elemente oder in der in eine galvaniſche Kette eingeſchalteten, Kupfervitriollöſung enthaltenden Zerſetzungszelle nicht zu raſch, ſo fügen ſich die frei werdenden Kupfermolekel zu einer compacten Maſſe von gleichförmiger Dicke an einander, die ſich von der Kathode unverſehrt wegnehmen läßt, in der jede Erhöhung oder Vertiefung, die auf der Kathode ſich befindet, bis auf die feinſten Lineamente abgedrückt erſcheint. Dieß hat Jacobi zuerſt wahrgenommen und darauf ein Verfahren gegründet, Gebilde von Kupfer nach jedem gegebenen Model durch Fällung dieſes Metalles aus Kupfervitriollöſung auf galvaniſchem Wege darzuſtellen, welches Verfahren er Galvanoplaſtik nennt. Münzen, Medaillen, gravirte Metallplatten u. dgl. laſſen ſich dadurch auf das Vollkommenſte in Kupfer, und zwar nach Belieben erhöht oder vertieft wieder geben. Es iſt nicht nöthig das Original unmittelbar dem galvaniſchen Strome auszuſetzen, ja dieſes braucht nicht einmal von Metall zu ſeyn; ein Abdruck in leichtflüſſigem Metalle (nach Böttger am beſten aus 8 Th. Wismuth, 8 Th. Blei und 3 Th. Zinn beſtehend), ja ſogar in Gips oder in Stearin, deren Oberfläche man durch Auftragen feinen Graphits oder auf andere Art leitend gemacht hat, genügt. Einzelne kleinere Stücke behandelt man am bequemſten in einem Apparate von der Form Fig. 254, wo das äußere Gefäß geſättigte Kupfervitriollöſung, das innere, aus einem unten mit thieriſcher Blaſe geſchloſſenen Glascylinder beſtehend, aber Waſſer mit Zuſatz von etwas Schwefelſäure oder Kochſalz enthält. Auf den aus Kupferdraht gebildeten Träger ABC wird oben bei A eine (amalgamirte) Zinkplatte, unten aber die in Kupfer darzuſtellende Form gelegt. Man überläßt das Ganze mehrere Tage ſich ſelbſt, von Zeit zu Zeit (allenfalls nach 24 Stunden) die Säure erneuernd, und die Kupfervitriollöſung auf den gehörigen Grad von Concentration zurückführend. Zu größeren oder mehreren Gegenſtänden bedient man ſich einer aus einigen Elementen beſtehenden Batterie, und einer eigenen Zerſetzungszelle mit concentrirter Kupfervitriollöſung gefüllt, in welcher man die Model für den Kupferniederſchlag mit der Kathode der Batterie in Verbindung ſetzt. Iſt die Anode von Kupfer, ſo wird dieſe durch die frei gewordene Schwefelſäure in dem Maße aufgelöſet, als ſich Kupfer an die Kathode anſetzt, ſo daß dieſes gleichſam von der Anode zur Kathode wandert. Es iſt unerläßlich in den Schließungskreis eine Bouſſole einzuſchalten, um die Stärke des Stroms nicht über eine gewiſſe Grenze gehen zu laſſen, wie auch allzu großer Schwächung deſſelben vorzubeugen. Damit nicht Theilchen, die ſich von der zu Grunde gehenden Anode ablöſen, die Kathode verunreinigen, umgibt man die Anode mit Leinwand. Das Product wird von

dem Model durch Anfeilen leicht getrennt. (Die Galvanoplaſtik. Von M. H. Jacobi. St. Petersburg 1840.)

Auf ähnlichen Grundſätzen beruht die Vergoldung des Silbers, Meſſings, Stahles, das Ueberziehen der Metalle mit Platin, das Verzinnen, Verzinken u. ſ. w. auf galvaniſchem Wege. Man bringt in die Zerſetzungszelle eine ſtark verdünnte Löſung von Chlorgold, Chlorplatin ꝛc. in Waſſer mit Zuſatz von eben ſo viel Kochſalz, in welche man den mit der Kathode verbundenen Gegenſtand mehrere Male, aber jedesmal nur kurze Zeit eintaucht, und darauf abtrocknet (Böttger, Beiträge zur Phyſik und Chemie 2. 86; 100). Nur iſt es bis jetzt noch nicht gelungen, derlei Ueberzüge von der Form zu trennen, welche Eigenſchaft daher dem Kupfer ausſchließend zuzukommen ſcheint. Es muß noch bemerkt werden, daß ſich Kupfergebilde auch durch ſucceſſives Anlegen des Kupfers von außen mit glatter Oberfläche darſtellen laſſen.

Läßt man einen ſehr ſchwachen elektriſchen Strom durch dünne Dráhte in die zu zerſetzende Flüſſigkeit gehen, ſo können ſich die ſehr langſam frei werdenden kleinſten Theile ganz regelmäßig, eines nach dem anderen anordnen, ſo daß man auf dieſem Wege manchen Körper kryſtalliſirt erhält, der bei keinem anderen Mittel in Kryſtallform erſcheint. (Becquerel in Zeitſchr. 6. 351; 8, 93.)

Läßt man eine Elektrode in eine polirte Metallſcheibe ausgehen, während die andere in eine Spitze ausläuft und der Ebene dieſer Scheibe ſenkrecht gegenüber ſteht; ſo legt ſich meiſtens das Product der Zerſetzung, welches an dem der Scheibe entſprechenden Pole erſcheint, in Form concentriſcher Kreiſe an, deren Mittelpunct der Spitze der anderen Elektrode gerade gegenüberſteht. Nobili hat dieſe ringförmigen Ablagerungen mit beſonderem Fleiße unterſucht. Man bringt ſie mit ſehr ſchwachen elektriſchen Strömen in kurzer Zeit hervor. Eſſigſaures Kupfer mit Salpeter gemiſcht, gewährt an einer mit dem negativen Pole verbundenen, polirten Silberplatte eine ſchöne Erſcheinung dieſer Art. (Nobili in Zeitſchr. 2. 435; 3. 65 Pogg. Ann. 33. 537. Schweigg. J. 54. 40.) Nach Fechner reicht es zur Erzeugung ſolcher Figuren hin, die in einer eſſigſauren Kupferoxydlöſung befindliche Silberplatte einige Minuten lang mit einem Zinkſtäbchen zu berühren. (Schweigg. J. 55. 442.)

154. Ein elektriſcher Strom kann nicht bloß chemiſche Wirkungen hervorbringen, ſondern auch ſolche, die nach den gewöhnlichen Affinitätsgeſetzen, aber in einem der Tendenz des Stromes entgegengeſetzten Sinne eintreten ſollen, hindern. Legt man ein Stück Eiſen in eine Schale von Glas oder Porcellan, und übergießt es mit verdünnter Salpeterſäure, ſo löſet ſich dieſes Metall in der Säure auf. Berührt man es aber mit einem Stückchen Zink, ſo wird das Eiſen nicht mehr angegriffen, dafür aber das Zink, und erſt wenn letzteres ganz aufgezehrt iſt, kommt die Reihe wieder an erſteres. Daſſelbe erfolgt mit Kupfer, Zinn, Blei oder Silber, oder wenn man Schwefelſäure oder Salzſäure der Salpeterſäure ſubſtituirt. Selbſt Gold und Platin werden durch Zink gegen die Einwirkung des Königswaſſers geſchützt.

Man kann ſich den Hergang bei dieſen Erſcheinungen ſo vorſtellen: Wenn Eiſen in Salpeterſäure getaucht wird, ſo entſteht ein elektriſcher Strom zwiſchen der Flüſſigkeit und dem Metalle, und dieſer bedingt die Zerſetzung eines Theiles der Säure und die Oxydation des Metalles auf

Koſten des von ihr frei gewordenen oder bereits in ihren Poren enthaltenen Sauerſtoffes. Daß ſich das Oxyd in der übrigen Säure auflöſet, bedarf keines weiteren Beweiſes, und wird durch die gewöhnlichen Affinitätsgeſetze vermittelt. Berührt man aber das Eiſen mit Zink, ſo tritt ein anderer, entgegengeſetzter Strom auf, der ſtärker iſt als der erſtere, und durch deſſen Einfluß das Zink, nicht das Kupfer oxydirt wird, eben weil er in ſeiner Richtung dem vorigen entgegengeſetzt iſt. Dieſes Oxyd iſt es, welches nun in der Säure aufgelöſet wird. Demnach hängt das Angegriffenwerden des einen oder anderen Metalles nur davon ab, welches von beiden durch den Einfluß des elektriſchen Stromes oxydirt wird; auf den weiteren Verlauf hat die Elektricität keinen Einfluß mehr. Daß Eiſen durch bloße Berührung mit Zink in feuchter Luft nicht vor Oxydation geſchützt werden könne, iſt daraus erklärbar, daß der elektriſche Strom, zu welchem durch Berührung der zwei Metalle die Tendenz vorhanden iſt, wegen zu geringer Leitungsfähigkeit der feuchten Luft nicht zur Wirklichkeit kommen kann. Auf dieſen Grundſätzen beruht die Schützung des Kupferbeſchlages von Schiffen durch Zink, Eiſen 2c. gegen Einwirkung des Meerwaſſers nach Davy, auch Sorel's galvaniſirtes Eiſen.

155. Nimmt man an, daß die Tendenz zu einem elektriſchen Strome und unter günſtigen Umſtänden der Strom ſelbſt in einem Metalle die dieſe Tendenz erzeugende Urſache überdauert, ſo erklären ſich, wenigſtens nach dem gegenwärtigen Standpuncte der Wiſſenſchaft, alle jene Erſcheinungen, die Schönbein neueſtens wieder hervorgehoben und mit neuen, ſehr intereſſanten vermehrt hat, und die ſich darauf beziehen, ein Metall gegen eine Säure, die es im natürlichen Zuſtande ſtark ergreift, ganz indifferent zu machen.

Setzt man einen Eiſendraht einige Augenblicke mit dem poſitiven Pole einer Volta'ſchen Säule in Berührung, ſo wird er hierauf von Salpeterſäure, die ſo verdünnt iſt, daß ihr ſp. Gew. 1.35 nicht überſchreitet, nicht angegriffen; er gibt mit Platin oder Silber kein wirkſames Volta'ſches Element mehr, oxydirt ſich, als Polardraht einer elektriſchen Säule gebraucht, am Pole nicht, zerſetzt den Kupfervitriol nicht mehr, kurz er verhält ſich, wie Schönbein ſagt, ganz paſſiv. Dieſe Paſſivität erlangt er auch auf andere Weiſe, z. B. durch Glühen und Anlaufen in der Luft, und zwar nicht bloß an der geglühten oder angelaufenen Stelle; nur muß man das geglühte Stück zuerſt in die Flüſſigkeit tauchen, gegen die er paſſiv ſeyn ſoll; er theilt dieſe ſeine Eigenſchaft einem anderen Eiſendraht mit, der um das nicht geglühte Ende feſtgewunden, oder mittelſt eines Platindrahtes damit verbunden iſt. Dieſer paſſive Zuſtand hört mit der Zeit von ſelbſt auf, und zwar iſt ſelber nach Verſchiedenheit der Mittel, durch die er erzeugt wurde, auch verſchieden. Erhitzt man die Salpeterſäure, gegen welche ein Eiſendraht paſſiv iſt, bis gegen 88°, oder erſchüttert man das aus der Säure hervorragende Ende heftig, oder bringt man zwei paſſive, in derſelben Säure befindliche Drähte an der oberſten Fläche mit einander in Berührung 2c., ſo wird die Paſſivität augenblicklich aufgehoben. (Pogg. Ann. 37. 590, 590; 38. 444, 492; 39. 122. 43. 1, 13. Das Verhalten des Eiſens zum Sauerſtoffe von Schönbein. Baſel 1837.)

Das Hinausreichen der Wirkung der Elektricität auf einen Körper über die Dauer ihrer Exiſtenz beweiſen beſtimmte Erfahrungen. Die Polardrähte, welche eine Zeit lang zur Zerſetzung eines Körpers, z. B. des Waſſers, durch den elektriſchen Strom gedient haben, erlangen dadurch

die Kraft, dieſe Zerlegung ſelbſt dann noch anhaltend, und zwar oft mehrere Tage fortzuſetzen, nachdem ſie von der Säule getrennt worden ſind; ja man kann ſie aus der Flüſſigkeit herausnehmen und reinigen, ohne ihnen dadurch ihre Kraft zu nehmen. Nach Pfaff ſind nicht alle Metalle hiezu in gleichem Grade geeignet, und zwar Eiſen- und Zinkdrähte im höchſten Grade, in einem geringeren Silber-, Platin-, und Golddrähte; an Meſſing- und Bleidrähten bemerkt man hiervon nichts. Aber wenn auch ſolche Drähte kein Waſſer mehr zerſetzen, ſo iſt doch die Tendenz, dieſes zu thun, noch nicht verſchwunden, denn ſie geben oft auf andern Wegen noch Zeichen eines vorhandenen elektriſchen Stromes.

156. Die Wirkung zwiſchen den Polardrähten und den Beſtandtheilen der Körper und die durch Elektricität begünſtigte Verbindung der in der Kette befindlichen Körper bewirkt beſondere, oft ſehr intereſſante Bewegungen, die ſchon vor mehreren Jahren von Erman entdeckt, aber erſt in der neueren Zeit von Herſchel, Pfaff, Runge u. A. genauer beachtet wurden. Bedeckt man Queckſilber mit einer dünnen Schichte einer leitenden Flüſſigkeit, z. B. Schwefelſäure, und ſetzt die zwei Pole mittelſt Platindraht mit dieſer in leitende Verbindung, ohne durch ſie das Queckſilber zu berühren; ſo entſtehen Strömungen, die nach Umſtänden bald von einem, bald von beiden Polen ausgehen, bald eine gerade, bald eine krumme Bahn einſchlagen, und ſich überhaupt nach der Natur des flüſſigen Leiters, nach der Reinheit und Menge des Queckſilbers, und nach der Stärke der Adhäſion deſſelben an das Gefäß, worin es ſich befindet ꝛc., richten. Starke Säuren geben auch ſtarke Strömungen, ſo daß man ſie ſchon mit einer einfachen Kette hervorbringen kann.

In einer ſauren Flüſſigkeit wird das Queckſilber vom poſitiven Pole weggetrieben, in einer alkaliſchen gleichſam angezogen. Berührt bei Anwendung eines Alkali der negative Polardraht das Queckſilber, ſo plattet es ſich ab, es beginnt eine Strömung vom poſitiven Pole aus, und dauert noch einige Zeit fort, nachdem der Draht zurückgezogen worden; berührt aber der poſitive das Queckſilber, ſo erfolgt eine ſchwache Contraction, das Queckſilber oxydirt ſich und wird zähe. Uebergießt man Queckſilber 1/2 L. hoch mit einer geſättigten Kochſalzlöſung und legt einen kleinen Kupfervitriolkryſtall vorſichtig darauf; ſo wird das Queckſilber allmälig matt und überzieht ſich mit einer Haut. Berührt man es durch die Salzlauge mit einem Stücke reinen Eiſen, ſo zerreißt die Haut und verliert ſich, es beginnen Strömungen, der Kryſtall vermindert ſich zuſehends und verſchwindet endlich ganz. Eben ſo geräth ein kleiner Queckſilbertropfen in einer geſättigten Auflöſung von ſalpeterſaurem Queckſilberoxydul in eine heftige rotirende Bewegung, wenn man ihn mit einem reinen Zinkſtäbchen berührt, und dieſe Bewegung hört nicht eher auf, als bis die Bildung des Zinkamalgams vollendet iſt. (Schweigg. J. 48. 190. Pogg. Ann. 8. 106; 17. 472.)

Viertes Kapitel.

Inducirte elektriſche Ströme.

157. Im Jahre 1831 machte Faraday die wichtige Entdeckung, daß ein elektriſcher Strom unter gewiſſen Umſtänden in einem nahen Leiter einen elektriſchen Strom zu erzeugen vermag. Nachſtehendes wird hierüber nähere Auskunft ertheilen: Man denke ſich zwei neben einander fortlaufende, jedoch iſolirend getrennte Leitungsdrähte A und B. Werden die Enden von A mit Einſchaltung eines Galvanometers unter einander leitend verbunden, hierauf die Enden von B mit den Polen einer Volta'ſchen Kette in Verbindung geſetzt, ſo entſteht in dem Augenblicke, in welchem die Kette durch B geſchloſſen wird, wie man mittelſt des Galvanometers ſehen kann, in A ein elektriſcher Strom, deſſen Richtung jener des Stromes in B entgegengeſetzt, deſſen Dauer aber nur äußerſt kurz iſt; denn die Galvanometernadel bleibt, obgleich der Strom in B anhält, nicht abgelenkt, ſondern kommt nach den gewöhnlichen Schwingungen wieder zur Ruhe. Oeffnet man, nachdem die Nadel in Ruhe gebracht wurde, die Kette B, ſo daß der Strom in ſelber aufhört, ſo zeigt ſich in dem Leiter A abermals ein elektriſcher Strom, gleichfalls von nur momentaner Dauer, deſſen Richtung aber jetzt mit jener, welche der Strom in B hatte, übereinſtimmt. Dieſelben Phänomene zeigen ſich auch, während in B ein elektriſcher Strom circulirt, wenn nur deſſen Intenſität plötzlich erhöht wird, oder plötzlich abnimmt, oder auch wenn der Leiter B mit der Volta'ſchen Kette in Verbindung, jedoch von dem Leiter A entfernt iſt und einer dem andern plötzlich genähert wird, und eben ſo, wenn beide Leiter einander nahe ſtehen und plötzlich von einander entfernt werden; der elektriſche Strom in B erregt bei der Annäherung an A in letzterem einen Strom von entgegengeſetzter, bei der Entfernung einen Strom von gleichlaufender Richtung. Im Allgemeinen kann man ſagen, daß jede Aenderung der elektrodynamiſchen Action des Leiters B auf A einen momentanen elektriſchen Strom in A zur Folge hat; die Steigerung dieſer Action einen Strom, der den Strom in B abſtößt, die Verringerung einen Strom, der den in B vorhandenen anzieht. Man nennt den in A entſtehenden Strom einen ſecundären oder inducirten; den in B vorhandenen den primären oder inducirenden.

Man macht dieſe Grundverſuche am evidenteſten mittelſt zweier multiplicirenden Drahtgewinde, die man auf den Rand zweier runden Scheiben wickelt. Man verbindet eines der Drahtgewinde mit dem Galvanometer, das andere nach Erforderniß mit der Volta'ſchen Kette, und legt entweder die Scheiben auf einander, oder man nähert raſch eine der andern, oder man entfernt eine von der andern, und beobachtet die Anzeigen der ſecundären Ströme am Galvanometer.

158. Nach dieſen Thatſachen läßt ſich mit Grund erwarten, daß die Exiſtenz der ſecundären elektriſchen Ströme ſich auch durch andere Wirkungen, als: Zuckungen an Froſchſchenkeln, Geſchmack auf der Zunge, Lichterſcheinung vor dem Auge, Funken, Magnetiſirung einer

Stahlnadel u. dgl. kund geben werde. Dieß iſt nicht nur der Fall, ſondern der ſecundäre Strom kann, wenn gleich der primäre nur von einem einzigen Volta'ſchen Elemente herrührt, ſehr ſtarke Stöße hervorbringen, ja es iſt dazu nicht einmal nöthig, daß er in einem abgeſonderten Drahte entſtehe, ſondern ein elektriſcher Strom erzeugt bei dem Erlöſchen ſogar in ſeinem eigenen Leiter einen ſecundären Strom.

Wickelt man auf einen einige Zoll langen, etwa 1 Zoll dicken Holzcylinder 4—5 Lagen eines ³/₄—1 Lin. dicken, mit Seide beſponnenen Kupferdrahtes und darüber viele Lagen eines feinen Drahtes, deſſen Windungen gleichfalls durch Seide von einander iſolirend getrennt ſind; bringt man an den feinen Drahtenden metallene Cylinder als Handhaben an, und läßt man durch den dicken Draht den Strom eines Volta'ſchen Elementes, jedoch mit raſch auf einander folgenden Unterbrechungen, gehen, die man hervorbringt, wenn man in die Kette einen Unterbrecher (126) einſchaltet, zu welchem Behufe auch mit Vortheil ein rotirender Ritſchie'ſcher Elektromagnet dienen kann, der nicht erſt bewegt zu werden braucht; ſo fühlt man, die Metallcylinder mit naſſen Händen faſſend, heftige Zuckungen, und ſieht, wenn man die feinen Drahtenden mit einander in Berührung bringt und trennt, zwiſchen denſelben helle Funken. Entladet man ein Volta'ſches Element mittelſt eines auf einen Holzcylinder gewundenen, nicht zu dünnen, mit einem Seidenüberzuge bekleideten Drahtes von großer Länge, ſo gewahrt man bei der Unterbrechung der Schließung einen viel ſtärkeren Funken, als ihn das Element mit einem kurzen Schließungsleiter auf die gewöhnliche Art entladen gibt; verbindet man noch mit den Drahtenden Metallcylinder, die man mit den Händen faßt, ſo daß man auch nach der Unterbrechung des Schließungskreiſes des Volta'ſchen Elementes mit dem Drahtgewinde einen geſchloſſenen Leiter bildet, ſo empfindet man bei jeder Trennung der Volta'ſchen Kette eine Erſchütterung. Die bedeutende phyſiologiſche Wirkung des in einem langen Drahtgewinde entſtehenden ſecundären Stromes iſt eine Folge des Aufeinanderwirkens der einzelnen Windungen und des größeren Leitungswiderſtandes im Drahte, welcher die Einfügung eines ferneren Widerſtandes leichter verträgt (124). Will man durch den ſecundären Strom eine Stahlnadel magnetiſch machen, ſo darf man nicht vergeſſen, daß die Wirkungen beim Schließen und Oeffnen der primären Kette einander entgegengeſetzt ſind, und einander daher ganz oder zum Theile tilgen. Es muß alſo die Nadel ſich in der dem ſecundären Leiter entſprechenden Schraube ſchon befinden, ehe die primäre Kette geſchloſſen wird, und vor Oeffnung letzterer entfernt werden, oder man muß dieſelbe nach Schließung der primären Kette in erwähnte Schraube bringen und nach Oeffnung der Kette unterſuchen.

159. Der elektriſche Strom einer Leidnerflaſche erregt in geſchloſſenen Leitern, die dem Schließungsdrahte nahe ſtehen, gleichfalls inducirte Ströme, deren Beſchaffenheit erſt kürzlich von Rieß unterſucht wurde. Dieſer Gelehrte zeigte durch ſorgfältige Verſuche (Magnetiſirung von Stahlnadeln, wie auch Erzeugung von Figuren auf einer Harzfläche betreffend), daß der ſecundäre Strom (Nebenſtrom) ſtets eine mit der des Hauptſtromes gleichlaufende Richtung habe. Aus der Erwärmung eines in ein Luftthermometer eingeſchloſſenen Platindrahtes konnte auf die Menge der ſtrömenden Elektricität und auf die Schnelligkeit der Entladung geſchloſſen werden; es ergab ſich, daß die Elektri-

citätsmenge im Nebendrahte jener im Hauptdrahte und der wirkſamen Länge dieſes Drahtes direct, dem Abſtande beider Drähte verkehrt proportionirt iſt, und in einer der Dauer der Hauptentladung proportionirten Zeit circulirt, übrigens aber nicht von der Leitungsfähigkeit des Nebendrahtes abhängt. Der Nebendraht ſelbſt wirkt auf die Entladung in dem Hauptdrahte zurück; er verändert zwar nicht die entladene Elektricitätsmenge, wohl aber die Dauer der Entladung, welche er in dem Maße verzögert, als die Vollkommenheit der Leitung in ihm ſelbſt jener im Hauptdrahte nachſteht; dieſe Verzögerung nimmt bei Vergrößerung der Länge der Schließung des Nebendrahtes bis zu einem Maximum zu, welches um ſo größer iſt, und erſt bei einer um ſo größeren Länge des bloß ſchließenden Theiles des Nebendrahtes erreicht wird, ein je größerer Theil des Hauptdrahtes auf den Nebendraht einwirkt. Bei noch weiter fortgeſetzter Verlängerung des ſchließenden Theiles des Nebendrahtes nimmt deſſen Einfluß auf den Strom im Hauptdrahte wieder ab. Es läßt ſich die Wirkung aus der Annahme begreifen, daß die Entladung der Batterie eine Folge partieller Entladungen iſt, deren jede ihren Nebenſtrom erzeugt, der wieder auf den Hauptſtrom reagirt und mehr oder weniger in die nächſte partielle Entladung eingreift. Befinden ſich zwei Nebendrähte in der Nähe des Hauptdrahtes, ſo iſt der Strom in jedem ſchwächer, als wenn der andere nicht vorhanden wäre; iſt ſtatt des einen Nebendrahtes eine Metallplatte vorhanden, ſo ſteht die Stärke des Stromes im Nebendrahte mit der Dicke der Platte in verkehrtem Verhältniſſe: wird eine ſehr dicke Metallplatte oder irgend eine Platte aus einem iſolirenden Stoffe zwiſchen den Haupt- und Nebenſtrom eingeſchaltet, ſo findet kein merklicher Einfluß derſelben auf den Nebenſtrom Statt, ſo daß hier nichts vorkommt, was dem von Faraday bei der ſtatiſchen Induction in Betrachtung gezogenen ſpecifiſchen Inductionsvermögen der Medien analog wäre. Ein Theil des Schließungsdrahtes einer Batterie übt auf einen andern Theil dieſes Drahtes keine Induction aus. Bei der Magnetiſirung einer Nadel durch den Nebenſtrom ſtellen ſich ähnliche Anomalien ein, wie bei der Magnetiſirung durch den Hauptſtrom (137), nur daß hier nebſt der Länge der Nebenſchließung auch noch der Umſtand, ob ſie irgendwo unterbrochen iſt, ſo daß ein Funke überſpringen muß oder nicht, ferner die Dichte der Ladung der Batterie, die Länge der Hauptſchließung und noch andere Umſtände in das Spiel treten, deren Erörterung noch weitere Unterſuchungen verlangt. (Ueber dieſe Gegenſtände ſiehe die klaſſiſchen Abhandlungen in Pogg. Ann. 47. 55; 49. 393; 50. 1; 51. 177 u. 351.)

160. Dem Entdecker der Induction elektriſcher Ströme konnte die Vermuthung nicht entgehen, daß, ſo wie ein Magnet bei den Erſcheinungen, die auf der Anziehung und Abſtoßung elektriſcher Ströme beruhen, einem Syſteme paralleler elektriſcher Ströme analog wirkt, er ſich auch bezüglich der Induction auf ähnliche Weiſe verhalten werde. Die Erfahrung beſtätigte dieſe Uebereinſtimmung auf das Vollkommenſte, und es laſſen ſich daher alle inducirten Effecte der Magnete

mit Zugrundelegung der Ampère'ſchen Vorſtellungsweiſe (143) nach dem Fundamentalgeſetze der Induction elektriſcher Ströme vorherſagen. Doch kann dieß keineswegs als ein entſcheidender Grund für die Richtigkeit der Ampère'ſchen Hypotheſe gelten; denn es folgen ſämmtliche Phänomene eben ſo einfach aus der Annahme, daß jedes mit einem beſtimmten Magnetismus verſehene Theilchen um unendlich wenig aus ſeiner Poſition verſchoben, gegen jeden Punct im Raume ein Beſtreben äußere, die dort vorhandenen Elektricitäten zu trennen, und zwar nach entgegengeſetzten Richtungen, die ſenkrecht gegen die Ebene ſtehen, welche durch die von dem magnetiſchen Theilchen beſchriebene Linie und durch den Punct gelegt iſt, ſo daß die poſitive Elektricität nach der einen, die negative nach der andern Seite hin getrieben oder in Strömung verſetzt wird. Die Richtung, nach welcher das magnetiſche Theilchen die poſitive Elektricität zur Bewegung anregt, muß hier als die entgegengeſetzte derjenigen Richtung betrachtet werden, nach welcher der elektriſche Strom gehen müßte, um dem magnetiſchen Theilchen in Folge des allgemeinen Geſetzes (129) gerade die Bewegung zu ertheilen, in der es die vorliegende inductive Wirkung hervorbringt (Lenz in Pogg. Ann. 31. 483). Uebrigens iſt es gleichviel, ob ein Magnet gegen einen geſchloſſenen Leiter, oder ein ſolcher Leiter gegen den Magnet bewegt wird, und ob der Magnetismus ein bleibender, oder ein erſt durch die Action eines Magnetes temporär hervorgerufener iſt; immer wird in dem Leiter ein elektriſcher Strom erzeugt, es wäre denn der ſinguläre Fall vorhanden, daß die beiden Pole des Magnetes, die man hier als die Mittelpuncte einander entgegengeſetzter Actionen betrachten darf, gleichen Antheil an der Strombildung nehmen, und daher die reſultirende Action = 0 zu ſetzen iſt. Der ſo entſtandene magneto-elektriſche Strom gibt ſeine Anweſenheit und Richtung am Galvanometer zu erkennen, wirkt auf das Froſchpräparat, auf die Zunge, gibt Funken und kann durch zweckmäßige Vorrichtungen ſo geſteigert werden, daß er mit jenem einer kräftigen Volta'ſchen Kette eine Vergleichung aushält.

Um die Grundverſuche der Erzeugung elektriſcher Ströme durch bewegten Magnetismus zu machen, dient am beſten ein hohler 1—2 Zoll langer und 1 Zoll weiter Cylinder von Holz, mit iſolirtem Kupferdrahte bewickelt, in deſſen Höhlung ſich ein Magnetſtab einſchieben läßt. Verbindet man die Enden des Drahtgewindes mit einem Galvanometer und ſchiebt den Magnetſtab bis zu ſeiner Mitte in den Cylinder, wobei jedoch das Galvanometer ſo weit entfernt ſtehen muß, daß der Magnetſtab auf die Nadel deſſelben nicht merklich einwirkt, ſo zeigt die Magnetnadel einen elektriſchen Strom an, der, wenn der eingeſchobene Pol des Stabes der Nordpol war, im Drahtgewinde eine ſolche Richtung hat, daß er an dem nach der Richtung der Bewegung des Magnetes weiſenden Ende eines in die Höhlung des Cylinders gelegten Stabes aus weichem Eiſen einen Südpol hervorbringen würde. Dieſer Strom iſt von nur ſehr kurzer Dauer; denn wenn der Magnetſtab in der Höhlung des Drahtgewindes ruhig bleibt, kommt die Galvanometernadel nach den gewöhnlichen Schwingungen zur Ruhe. Zieht man jetzt den Magnetſtab vorwärts oder rückwärts aus dem

Drahtgewinde heraus, ſo entſteht wieder ein momentaner Strom, aber mit dem vorhergehenden verglichen, nach entgegengeſetzter Richtung. Nimmt man zu dem Gewinde einen etwa $1/_2$ Lin. dicken und nicht ſehr langen Draht, ſo daß er auf dem Cylinder nur einige Lagen bildet, und bringt man an dem einen Drahtende ein amalgamirtes Kupferſcheibchen an, gegen deſſen Fläche das andere zugeſpitzte Drahtende in einem Bogen federnd ſich ſtemmt, ſo daß es bei einer mäßigen Erſchütterung davon in mehreren Vibrationen abſpringt und wieder hinzugeht, ſo zeigt ſich bei der Einführung, wie auch bei dem Herausziehen des Magnetſtabes zwiſchen dem Plättchen und der Spitze ein heller Funke. Enthält das Drahtgewinde feineren Draht in vielen über einander liegenden Windungen, ſo empfindet man, wenn man Metallcylinder, an welchen die Enden des Drahtes befeſtigt ſind, mit naſſen Händen hält, bei jeder der genannten Bewegungen des Magnetſtabes eine Erſchütterung, und mit Jodkaliumlöſung befeuchtetes Papier zeigt Spuren der Zerſetzung des Salzes. Dieſelben Erſcheinungen erhält man auch, wenn man in die Höhlung des Cylinders einen Stab aus weichem Eiſen legt und dieſen mit dem Pole eines ſtarken Magnetes berührt, oder den Pol davon losreißt, oder wenn man den Draht auf den Anker eines Hufeiſenmagnetes wickelt und wie vorhin verfährt, auf welche Art ſich der Funke ſehr leicht hervorbringen läßt.

161. Die Geſetze, nach welchen ſich die Stärke des durch magneto-elektriſche Induction entſtehenden Stromes richtet, ſind von Lenz unterſucht worden. Sie ſind denen ganz analog, welche im vorhergehenden Kapitel (136) für die Stärke des Magnetismus gegeben wurden, den ein elektriſcher Strom dem weichen Eiſen ertheilt. Es iſt alſo die elektro-magnetiſche Kraft einer inducirten Spirale der Summe der elektromotoriſchen Kräfte der einzelnen Windungen gleich, mithin unter übrigens gleichen Umſtänden der Anzahl der Windungen nahe proportional, von der Weite der Windungen faſt, und von der Dicke des Drahtes gänzlich unabhängig. Die weiteren Windungen ſind gegen die engeren etwas im Nachtheil. (Pogg. Ann. 34. 385; 47. 266.)

Da die Einwirkung eines inducirten Stromes auf die Galvanometernadel eine momentane iſt, ſo kann die Kraft des Stromes nur nach der Größe des erſten Ausſchlages der Nadel beurtheilt werden. Es verhält ſich dieſe Kraft, bei einerlei anfänglicher Stellung der Nadel gegen das Galvanometergewinde, und bei gleicher Wirkung der erdmagnetiſchen Kraft auf die Nadel, wie die Geſchwindigkeit, welche die Nadel durch den von dem inducirten Strome ausgehenden Impuls empfängt. Weil die Nadel, einem Pendel ähnlich, aus ihrer größten Elongation durch die erdmagnetiſche Kraft gegen ihre Ruhelage zurückgeführt, mit eben dieſer Geſchwindigkeit in genannte Lage eintritt, welche Geſchwindigkeit, wie ſich leicht beweiſen läßt, der Sehne des von dem Endpuncte der Nadel beſchriebenen Bogens, mithin dem Sinus des halben Ausſchlagwinkels proportionirt iſt; ſo dient dieſer Sinus als Maß der im Galvanometerdrahte im Augenblicke der Induction vorhandenen Stromkraft.

162. Um kräftige magneto-elektriſche Ströme auf eine bequeme Weiſe zu erzeugen, bedient man ſich einer beſonderen Vorrichtung, der ſogenannten magneto-elektriſchen Rotationsmaſchine, welche als eine Elektricitätsquelle eigener Art, der Elektriſirmaſchine und Volta'ſchen Batterie an die Seite geſtellt werden darf. Die

erſte Maſchine dieſer Art wurde 1832 von Pixii conſtruirt; ſie hat nachher von Saxton, Clarke u. A. eine zweckmäßigere Einrichtung erhalten. Sie beſteht im Weſentlichen aus einer kräftigen Magnetbatterie und aus einem in deren Nähe befindlichen Anker von ſehr weichem Eiſen, deſſen Schenkel mit mehreren Lagen iſolirten Kupferdrahtes umwunden ſind. Eines dieſer beiden Stücke, entweder der Magnet oder der Anker, hier Inductor genannt, wird mittelſt einer Schnurmaſchine in rotirende Bewegung verſetzt, ſo daß die Pole des Magnetes und die Inductorſchenkel fortwährend, und zwar abwechſelnd in zwei entgegengeſetzten Lagen einander gegenüber zu ſtehen kommen und ſich wieder trennen. Von einer ſolchen Trennung der Pole und Inductorſchenkel bis zur nächſten Oppoſition derſelben wird in dem geſchloſſenen Drahtgewinde jedes Schenkels ein continuirlicher Strom von einerlei Richtung, jedoch von veränderlicher, nämlich bis zu einem Minimum abnehmender und hierauf wieder ſteigender Intenſität inducirt; hierauf folgt bis zur ferneren Oppoſition ein entgegengeſetzter Strom, und ſo wechſeln hinter einander die Richtungen der Ströme. Man kann dieſelben entweder, wie ſie ſich ergeben, alſo mit wechſelnden Richtungen durch beliebige Leiter gehen laſſen, oder dieſelben mittelſt eines Commutators auf einerlei Richtung zurückführen, oder auch nur einen der beiden Ströme benützen, indem man veranſtaltet, daß in dem Augenblicke, in welchem der entgegengeſetzte Strom eintreten ſollte, die Schließung der Drahtgewinde unterbrochen wird. Die Mittel, durch welche der eine oder der andere dieſer Zwecke erfüllt werden kann, ſind mannigfaltig, und durch ſelbe unterſcheiden ſich vornehmlich die von verſchiedenen Phyſikern angegebenen Einrichtungen ſolcher Apparate. Um einen gehörigen Effect zu erzielen, muß man auf den Leitungswiderſtand Rückſicht nehmen, den der magneto-elektriſche Strom in dem ſeiner Einwirkung unterworfenen Körper zu überwinden hat. Iſt dieſer Widerſtand gering, ſo gibt man dem Inductor nur wenige Drahtlagen, und wählt einen dickeren Draht; auch vereiniget man jene Drahtenden beider Schenkel mit einander, in welchen der Strom einerlei Richtung hat. Die Wirkungen des Stromes eines ſolchen Inductors ſind denen einer einfachen Volta'ſchen Kette mit größerer Oberfläche analog. Steht aber dem Strome ein bedeutender Widerſtand entgegen, z. B. ſoll dieſer Strom durch den menſchlichen Körper geleitet werden, oder eine chemiſche Zerlegung bewirken, ſo gibt man dem Inductor viele Windungen dünnen Drahtes, und verbindet die Gewinde der Schenkel ſo, daß ſie ein fortlaufendes Ganzes bilden. Man kann hiedurch die Wirkungen einer vielplattigen Volta-ſchen Säule nachahmen. Hieraus leuchtet die Nothwendigkeit ein, die magneto-elektriſche Rotationsmaſchine wenigſtens mit zwei verſchiedenen Inductoren auszuſtatten, deren einer mit dickerem, der andere mit dünnerem Drahte verſehen iſt.

Fig. 255 ſtellt eine magneto-elektriſche Rotationsmaſchine von der in Wien üblichen Einrichtung vor, bei welcher der Inductor der rotirende Theil iſt. Er bewegt ſich um eine verticale Axe, und ſeine aufwärts

gekehrten Schenkel gehen dabei unter den Schenkeln der auf einem Tiſchchen mit Stellſchrauben horizontal liegenden Magnetbatterie in möglichſter Nähe vorüber. Die Geſtalt des Inductors mit dickem Drahte zeigt Fig. 256, die des andern mit dünnem Drahte bewickelten Fig. 257. Die Einrichtung des Apparates geſtattet dieſe Inductoren leicht gegen einander umzutauſchen. Die Inductorſpindel a b iſt von Eiſen, ſie trägt eine eiſerne Platte c d, auf welcher in gleichen Abſtänden von der Mitte zwei maſſive Cylinder e, f von ſehr weichem Eiſen ſtehen, über welche die Drahtgewinde gewickelt ſind, der dickere Draht unmittelbar auf das Eiſen, der dünnere auf hölzerne Spulen; metallene Spulen ſind nicht zu empfehlen, weil ſie der Energie der Wirkung Eintrag thun. An der Spindel a b ſteckt zunächſt unter der Platte c d ein hohler Eiſencylinder g, der durch einen untergeſchobenen Holzcylinder von der Spindel iſolirend getrennt iſt. Unter dieſem befindet ſich in der Spindel ein zweiter, der Hauptform nach cylindriſcher Eiſenkörper h Er iſt mit der Spindel und daher auch mit der Platte c d in leitender Verbindung. An ſeinem untern Rande iſt ein Ausſchnitt angebracht, welcher die Hälfte des Umfanges hinwegnimmt; an ſeinem obern Rande befinden ſich einander gegenüber zwei grubenartige Vertiefungen. Ein (einfaches oder doppeltes) Drahtende der Gewinde iſt an die Platte c d, das andere an das Eiſenſtück g geklemmt. Zur Schließung der Kette und Leitung des Stromes ſtehen zu beiden Seiten der Inductorſpindel meſſingene Säulen m, n, deren jede mehrere Löcher zur Aufnahme von Metallfedern, die an g und h greifen ſollen, enthält. Stecken zwei g und h berührende Federn an derſelben Säule, ſo ſind die Enden der Drahtgewinde in leitender Verbindung; werden die Federn an beide Säulen vertheilt, ſo muß man die Säulen zur Schließung der Kette noch durch einen Leitungsdraht, in den die der Einwirkung des Stromes zu unterziehenden Körper eingeſchaltet werden, in Verbindung ſetzen. Iſt die an h greifende Feder in einerlei Höhe mit den grubenartigen Vertiefungen geſtellt, ſo findet, ſo oft ſie darüber wegleitet, eine momentane Unterbrechung der Kette Statt; entſpricht die Stellung der Feder dem Ausſchnitte an h, ſo iſt die Kette während eines halben Inductorumlaufes unterbrochen. Hiedurch gelingt es, bloß Ströme von einerlei Richtung durch den Schließungsleiter gehen zu laſſen, wie es bei der Darſtellung der elektromagnetiſchen Phänomene, bei chemiſchen Zerſetzungen u. dgl. nöthig iſt. Die erſteren Erſcheinungen, ſo wie auch Glühphanomene und Funken, bringt man mit dem Inductor mit dickem Drahte hervor; letztere, wie auch das Glühen der Kohle und phyſiologiſche Wirkungen erhält man mittelſt des Inductors mit dünnem Drahte. Um heftige Erſchütterungen ſelbſt mit einer einzelnen ſchwachen Magnetlamelle hervorzubringen, wendet man drei Federn an, zwei ſtecken an einer Säule und treffen das Stück g, wie auch die Vertiefungen auf h; die dritte an der andern Säule befindliche Feder greift an den mittleren nicht unterbrochenen Theil von h. Zwei Conductoren, deren jeder mit einer der Säulen metalliſch verbunden iſt, werden mit den Händen gefaßt. Durch die zwei Federn an derſelben Säule iſt die Kette geſchloſſen, ausgenommen, wenn die Feder an h über die Vertiefungen geht; in dieſem Augenblicke findet eine Unterbrechung Statt, und es entſteht ein inducirter Strom zweiter Ordnung, welcher mit namhafter Stärke durch den mittelſt der andern zwei Federn mit der Drahtſpirale in leitender Verbindung befindlichen Körper geht. (Pogg. Ann. 27. 390, 398; 39. 401. Bericht über die Verſammlung deutſcher Naturforſcher und Aerzte in Prag. Prag, 1838.)

Statt eines permanenten Magnetes kann auch ein Elektromagnet

angewendet werden. In dieſem Falle vertritt der durch den Wechſel der Stromrichtung bewirkte Polwechſel des Elektromagnetes die Rotation des Magnetes oder des Inductors. Der hiezu dienende Gyrotrop kann ein doppelter ſeyn, und die zweite Hälfte deſſelben dazu dienen, die entgegengeſetzten ſecundären Ströme, die der Inductor liefert, auf einerlei Richtung zurückzuführen. Einen Apparat dieſer Art hat zuerſt Pohl angegeben. (Pogg. Ann. 34. 185 u. 500)

Endlich muß bemerkt werden, daß die Wirkungen des in (158 Anm.) beſchriebenen Apparates bedeutend erhöht werden, wenn man in die Höhlung der Drahtſpirale weiches Eiſen, am beſten ein Bündel dünner Eiſenſtäbe oder Drähte legt. Das Eiſen nimmt hier bei jedem Schließen der galvaniſchen Kette Magnetismus an, und verliert ihn bei jedem Oeffnen der Kette wieder, und wirkt dadurch ebenfalls inducirend auf das äußere Drahtgewinde. Hiebei zeigt ſich die auffallende Erſcheinung, daß zwei ganz gleiche Drahtſpiralen, die mit verſchiedenem Eiſenkern verſehen auf das Galvanometer ganz gleich wirken, ſich in Abſicht auf Erſchütterung nicht gleich verhalten. Dove (Pogg. Ann. 49. 72) ſchreibt dieß mit Recht der verſchiedenen Geſchwindigkeit zu, mit welcher hier gleiche Elektricitätsmengen in Bewegung treten.

163. Auch der Erdmagnetismus inducirt elektriſche Ströme in bewegten Leitern. Verbindet man die Enden eines um einen großen Holzrahmen geführten Drahtes mit einem empfindlichen Galvanometer, und bewegt man den Rahmen, z. B. indem man ihn dem magnetiſchen Meridian parallel hält, und raſch um eine horizontale Seite wendet, ſo gibt der Ausſchlag der Galvanometernadel das Auftreten eines elektriſchen Stromes zu erkennen. Man kann dieſen Ausſchlag durch mehrere den Schwingungen der Nadel entſprechende entgegengeſetzte Bewegungen des Rahmens bedeutend ſteigern. Stärkere Wirkungen erhält man, wenn man eine Spirale anwendet, die um einen Stab aus weichem Eiſen gewickelt iſt, und den Stab, der anfänglich die Richtung der magnetiſchen Neigung hatte, raſch umkehrt; da hilft der im Eiſen durch terreſtriſchen Einfluß erregte Magnetismus mit.

Dreht man einen Kupferring um eine horizontale, im magnetiſchen Meridian liegende Axe, und ſtellt in dem Centrum des Ringes eine Bouſſole auf, ſo zeigt ſich eine Ablenkung der Nadel in Folge des im Kupferringe circulirenden, durch den Erdmagnetismus inducirten elektriſchen Stromes. Die ablenkende Stromkraft rührt in dieſem Falle bloß von der verticalen erdmagnetiſchen Kraft her; die Größe der Ablenkung wird durch die horizontale Erdkraft beſtimmt. Kennt man nun noch die Geſchwindigkeit der Drehung, ſo läßt ſich das Verhältniß der genannten zwei Componenten des Erdmagnetismus und daraus der Betrag der magnetiſchen Inclination berechnen. Hierauf gründet ſich Weber's Inductions-Inclinatorium. (Reſultate des magn. Vereins für 1837. S. 81. Auch Pogg. Ann. 43. 493.)

164. Die inducirende Kraft bewegter Magnete gibt zu ſehr intereſſanten Erſcheinungen Veranlaſſung. Man denke ſich zwei beweglich aufgehängte Magnetſtäbe oder Magnetnadeln ſo weit von einander entfernt, daß ſie auf einander nicht einwirken können, und jede Nadel nach Art eines Galvanometers mit einem Drahtgewinde umgeben. Stehen dieſe Drahtgewinde mit einander in leitender Verbindung, und wird eine der Nadeln bewegt, ſo geräth auch die andere in Bewe-

gung. Es iſt dieß eine Folge des durch magnetiſche Induction in dem Drahtgewinde entſtandenen elektriſchen Stromes. Zum Behufe der elektriſchen Telegraphie läßt ſich, wie ſchon Gauß gezeigt hat, an die Stelle des Volta'ſchen Apparates mit Vortheil ein magneto-elektriſcher Inductionsapparat ſetzen. Steinheil hat die Hilfsmittel, welche die Praxis aus derlei wiſſenſchaftlichen Principien ſchöpfen kann, durch Conſtruction eines ungemein ſinnreichen elektromagnetiſchen Telegraphen an den Tag gelegt. (Ueber Telegraphie, insbeſondere durch galvaniſche Kräfte von Steinheil. München, 1838.)

Merkwürdig iſt die Wirkung raſch auf einander folgender entgegengeſetzten Ströme auf eine Magnetnadel. Verbindet man nämlich die beiden Enden des Drahtgewindes eines ohne Commutator oder Stromunterbrechung rotirenden Inductors einer magneto-elektriſchen Maſchine mit einem Multiplicator, ſo ſollte man glauben, es könne keine Ablenkung der Magnetnadel eintreten, weil gleich ſtarke, einander entgegengeſetzte Ströme ſchnell auf einander folgen; allein die Erfahrung lehrt, daß die Nadel um 90° von ihrer natürlichen Richtung abgelenkt wird, und zwar immer nach der Seite, nach welcher ſie ſchon vor der Einwirkung der elektr. Strömung einen kleinen Ausſchlag hatte, ohne daß darauf die eigentliche Richtung der Rotation oder die Geſchwindigkeit derſelben einen Einfluß ausübte. Uebrigens ſchließt ſich dieſes Verhalten gut an die bekannten Geſetze des Elektromagnetismus an; denn ein elektriſcher Strom magnetiſirt eine Nadel immer ſo, daß ſie dadurch eine Richtung anzunehmen ſucht, wie jene iſt, nach welcher ſie derſelbe Strom ablenkt; von zwei auf einander folgenden Strömen wird darum durch einen bereits vor dem Eintritte derſelben vorhandenen Ausſchlag die Wirkung desjenigen verſtärkt, der dieſelbe Ablenkung hervorzubringen ſucht. (Poggendorff in deſſen Ann. 45. 353.)

165. Verſetzt man eine Magnetnadel, um welche ein multiplicirendes Drahtgewinde gelegt iſt, in Schwingungen, ſo nehmen die Amplituden derſelben viel raſcher ab, wenn die Enden des Drahtgewindes mit einander gut leitend verbunden ſind, als wenn dieß nicht Statt findet. In dem erſten Falle inducirt nämlich die Nadel bei jeder Bewegung in dem geſchloſſenen Leiter einen elektriſchen Strom, der die Nadel nach der ihrer Bewegung entgegengeſetzten Richtung abzulenken ſucht. Dieß geſchieht ſchon, wenn eine Magnetnadel über einer leitenden Platte oſcillirt, was Arago im Jahre 1825 entdeckte, ohne die eigentliche Urſache des Phänomens zu ahnen. Er fand, daß ſich der Schwingungsbogen einer horizontal ſchwingenden Magnetnadel über einer darunter befindlichen Kupferſcheibe ſehr ſchnell vermindert, und die Nadel viel eher zur Ruhe gebracht wird, als in Ermanglung einer ſolchen Unterlage. Aehnliches erfolgte, wenn die Nadel über einem anderen Metalle, ja in geringem Maße ſogar, wenn ſie über Glas, Waſſer, Holz oſcillirte. Gauß hat hievon eine nützliche Anwendung zur Dämpfung der Schwingungen des Magnetſtabes am Magnetometer gemacht.

Man muß ſich jedoch hüten, der inducirenden Action allein die Hemmung der Bewegung der Magnetnadel beizumeſſen. Die Verminderung des Schwingungsbogens einer unter dem Einfluſſe eines Metalles oſcillirenden Magnetnadel rührt theils vom Luftwiderſtande, theils von

jenem Einfluſſe her. Um beide Wirkungen von einander zu ſondern, ſey n die Anzahl der Schwingungen, welche die Nadel in Gegenwart des einwirkenden Körpers machen muß, damit ihr Schwingungsbogen um m Grade abnimmt, N dieſelbe Größe, wenn die Nadel ohne Einwirkung jenes Körpers oſcillirt, und die Abnahme des Schwingungsbogens bloß vom Widerſtande des Mittels herrührt. Nimmt man an, daß die Verminderung des Schwingungsbogens mit der Anzahl der Schwingungen gleichförmig fortſchreitet, ſo würde der Schwingungsbogen durch den alleinigen Einfluß des Mittels während n Schwingungen um $\frac{m\,n}{N}$ abgenommen haben, mithin iſt der alleinigen Einwirkung des Metalles auf die Magnetnadel während n Schwingungen bloß die Verminderung des Schwingungsbogens um $m - \frac{m\,n}{N} = m\left(\frac{N-n}{N}\right)$ zuzuſchreiben; in Folge dieſer Einwirkung ohne Beihilfe des Mittels hätte alſo der Schwingungsbogen erſt nach $\frac{N\,n}{N-n}$ Schwingungen (gefunden aus der Proportion $m\left(\frac{N-n}{N}\right) : m = n : x$) um die Größe m abgenommen.

Dieſer verzögernde Einfluß der durch die Bewegung eines Magnetes in umgebenden Leitern erregten elektriſchen Ströme auf dieſe Bewegung ſelbſt erklärt nun, warum die Erwartungen, zu welchen die große Tragkraft der Elektromagnete bezüglich der Anwendung des Elektromagnetismus zum Maſchinenbetriebe Veranlaſſung gibt, in der Praxis ſich nicht verwirklichen. (Vergl. 136 Anm.)

Chriſtie hat zuerſt bemerkt, daß directes Sonnenlicht die Schwingungsbögen einer oſcillirenden Magnetnadel, ſo wie eine nahe Kupferſcheibe vermindere, und dieſes einem magnetiſchen Einfluſſe des Lichtes zugeſchrieben Allein dieſe Wirkung iſt wenigſtens nicht ganz magnetiſcher Natur, und wird höchſt wahrſcheinlich größtentheils bloß durch aufſteigende Luftſtröme bewirkt. (Zeitſchr. 3. 96 u 157; 6. 325.)

166. Daß durch Aenderung der Stellung eines Magnetes hinſichtlich einer Metallſcheibe bewegende Kräfte geweckt werden, die früher nicht da waren, zeigt ſich ſogleich, wenn man eine Scheibe (am beſten aus Kupfer) mittelſt eines feinen Fadens ſehr beweglich aufhängt, und unter derſelben einen Hufeiſenmagnet in verticaler Stellung in ſchnelle rotirende Bewegung ſetzt. Da kommt alſobald auch die Kupferſcheibe nach derſelben Richtung in Bewegung. Es kann auch umgekehrt ein beweglicher Körper einen Magnet in Bewegung ſetzen; dieſes iſt der Fall an einer Magnetnadel, die ſich frei ſchwebend über einer ſchnell rotirenden Kupferſcheibe befindet. Bei einer mäßigen Geſchwindigkeit der rotirenden Scheibe wird der Magnet nach der Richtung der Rotation abgelenkt, und verharrt unter einem gewiſſen Ablenkungswinkel, ſo lange die Geſchwindigkeit der Scheibe unverändert bleibt; dieſe Ablenkung wird aber deſto größer, je ſchneller man die Scheibe dreht, und endlich fängt der Magnet ſelbſt zu rotiren an. Man kann ſogar die Einwirkung der Scheibe auf den Magnet durch die Größe des Ablenkungswinkels meſſen.

Die Geſchwindigkeit der Rotation iſt nicht das einzige Element, wovon die Größe der Einwirkung eines bewegten Körpers auf einen Magnet

abhängt. Ein ſtarker Magnet wird durch dieſelbe Scheibe ſtärker abgelenkt, als ein ſchwacher; aber zur Erzeugung einer großen Einwirkung iſt ein gewiſſes Verhältniß in der Größe des Magnetes und der Kupferſcheibe nothwendig. Ein ſehr kleiner Magnet wird durch eine ſehr große Scheibe ſo wenig merklich afficirt, als ein großer Magnet durch eine ſehr kleine Scheibe. Je weiter der Magnet von der Scheibe entfernt iſt, deſto geringer iſt ihre Einwirkung, ſie nimmt aber in einem größeren Verhältniſſe ab, als die Entfernung des Magnetes von der Scheibe wächſt. Körper, die zwiſchen den Magnet und die Kupferſcheibe gebracht werden, ſchwächen die Wirkung, wenn ſie ſelbſt eine ſolche beim Rotiren hervorzubringen vermögen. Eine Eiſenplatte hebt dieſe Wirkung ganz, eine Kupferplatte zum Theil auf, Glas, Holz, Papier ꝛc. laſſen ſie ungeſchwächt durch. Vorzüglich ſchwächend wirkt die Unterbrechung der Continuität der Metallmaſſe. Eine ſternförmig ausgeſchnittene Kupferſcheibe wirkt ohne Vergleich weniger, als eine maſſive; die Wirkung einer Scheibe kann man durch einen Schnitt ſehr verringern, doch kehrt ihre vorige Kraft wieder zurück, wenn man beide Stücke zuſammenlöthet. Ein ſpiralförmig gewundener Stab wirkt ſchwächer, als eine Scheibe von demſelben Durchmeſſer und von derſelben Maſſe. Kupfer in Pulverform wirkt ohne Vergleich ſchwächer, als in einer zuſammenhängenden Maſſe. Eine hart gehämmerte Platte wirkt ſtärker als eine ausgeglühte, doch ſoll eine Temperaturänderung der Platte ihre Wirkung nicht merklich ändern. Dieſelben Geſetze zeigen ſich in Betreff des Einfluſſes einer Kupferplatte auf eine oſcillirende Magnetnadel. Eine Magnetnadel, deren halber Schwingungsbogen ohne Einfluß eines nahen Körpers nach 108 Schwingungen von 18° auf 9° abnahm, verzögerte ſich in der Nähe einer 2 Lin. dicken Kupferſcheibe nach 7, in der Nähe einer 0,8 L. dicken nach 11 Schwingungen um eben ſo viel. Eine Platte, die den Ausſchlagswinkel eines Magnetes nach 8 Schwingungen um 10° verminderte, bewirkte dasſelbe erſt nach 10 Schw., wenn ſie entzweigeſchnitten war und die beiden Hälften hart an einander lagen. Ein Magnet, deſſen Schwingungsbogen über einer Kupferplatte nach 160 Schw. von 20° auf 10° herabſank, brauchte dazu nur 64 Schw., wenn mittelſt eines elaſtiſchen Fadens ſeine Oſcillationen beſchleuniget wurden. — Arago empfiehlt, die Stärke eines Magnetes nach dem Gewichte zu ſchätzen, das man ihm anhängen muß, um ihn durch eine Scheibe, die mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit rotirt, um einen gewiſſen Winkel abzulenken.

167. Es iſt klar, daß die Ablenkung eines Magnetes durch eine rotirende Kupferſcheibe von einer Kraft herrühren müſſe, die nach der Tangente der Scheibe wirkt. Dieſe iſt aber nicht die einzige, welche von einer ſolchen Scheibe ausgeht; ſondern es gibt deren noch zwei andere, wovon eine auf der Ebene der Scheibe ſenkrecht ſteht, die andere mit derſelben parallel iſt. Die erſtere wirkt auf jeden Pol eines Magnetes abſtoßend, und zeigt ſich, wenn man einen Magnetſtab vertical an eine Wage hängt, ihn daſelbſt ins Gleichgewicht ſetzt, und unter ihm eine Kupferſcheibe rotiren läßt; denn da wird alſogleich das Gleichgewicht geſtört, und die Seite, wo der Magnet aufgehängt iſt, erſcheint leichter. Die mit der Ebene der Scheibe parallele Kraft wirkt in der Nähe des äußeren Umfanges der Scheibe und etwas innerhalb deſſelben vom Centrum gegen die Peripherie, hingegen über einen gewiſſen Kreis hinaus, wo ſie gleich Null iſt, von der Peripherie zum Centrum. Davon überzeugt man ſich mittelſt einer In-

clinationsnadel. Stellt man dieſe ſo über die Scheibe, daß ſie eine verticale Richtung annimmt, ſetzt dann die Scheibe in Bewegung; ſo wird ſie in der Nähe des Umfanges der Scheibe gleichſam vom Centrum abgeſtoßen. Weiter einwärts bleibt die Nadel vertical, und noch weiter einwärts wird ſie endlich vom Centrum gleichſam angezogen. Das Verhältniß dieſer drei Kräfte zu einander ändert ſich mit der Geſchwindigkeit der rotirenden Scheibe.

168. So ſehr man auch auf den erſten Blick erkennt, daß dieſe Erſcheinungen durch inducirende Wirkung der Magnete zu erklären ſeyen, ſo darf man ſich doch der Verpflichtung nicht entſchlagen, das wirkliche Daſeyn inducirter Ströme nach der den Phänomenen angemeſſenen Richtung nachzuweiſen. Zu dieſem Ende ſtelle man eine Kupferſcheibe M (Fig. 258), welche um die Axe a beweglich iſt, ſo zwiſchen die zwei Pole n und s eines Hufeiſenmagnetes, daß der Rand noch unter den Polebenen ſteht, und ſowohl dieſer Rand (welcher zu dieſem Ende amalgamirt iſt), als auch die Axe mit einem Multiplicator verbunden, hierauf aber die Scheibe ſchnell gedreht wird. Da zeigt die Nadel des Multiplicators eine bleibende Ablenkung. Dasſelbe tritt in gleicher Ordnung und Stärke ein, wenn man die Scheibe ſo weit hebt, daß ihr Rand in die Ebene der Pole fällt, oder gar über dieſelbe hervorragt. Aendert man die Richtung der Rotation, ſo weicht auch die Nadel nach entgegengeſetzter Richtung aus. Dasſelbe erfolgt, wenn man die Pole des Magnetes verwechſelt, aber die Richtung der Rotation beibehalten wird. Auch wenn man nicht die genau zwiſchen den Polen befindliche Stelle des Randes, ſondern eine 50—60° davon abſtehende mit dem Multiplicator in Verbindung ſetzt, erfolgt eine Ablenkung; ſie wird aber immer ſchwächer, je weiter der Verbindungsdraht von der Polebene abweicht. Wenn man die Scheibe nur einem Magnetpole gegenüber ſtellt, treten dieſelben Wirkungen ein, nur in einem etwas geringeren Grade, und man kann aus der Richtung der Ablenkung der Nadel den Schluß ziehen, daß, wenn ſich die Scheibe horizontal und ſchraubenrecht dreht, und der Nordpol eines Magnetes über derſelben ſteht, der erregte elektr. Strom vom Centrum der Scheibe beim Magnetpole vorbei, zum Umkreiſe derſelben geht, und in dem entfernt vom Pole liegenden Theile der Platte zurückkehrt. Fig. 259 ſtellt ſolche Ströme mittelſt der punctirten Linien dar.

Bei einer horizontalen, rechts gedrehten Kupferſcheibe b a c (Fig. 260), über welcher ſich eine horizontal ſchwebende Magnetnadel befindet, hat man es mit der gleichzeitigen Wirkung zweier Magnetpole n und s zu thun. Erſterer erzeugt in der ihm entſprechenden Scheibenhälfte einen Strom, der vom Centrum a zum Umkreiſe b, letzterer einen ſolchen, der vom Umkreiſe c nach a geht; mithin entſteht durch die vereinte Wirkung beider Pole ein Strom, der von c nach b gerichtet iſt. Fig 261 ſtellt dieſe Ströme vor. Von dieſen hängt nun die tangentielle Ablenkung einer Magnetnadel durch eine rotirende Kupferſcheibe ab. Daß alle Wirkung aufhört, wenn keine Rotation mehr Statt findet, iſt klar, denn nun gibt es keinen ſecundären elektr. Strom mehr, auch der große Einfluß der Continuität der Maſſe auf derlei Phänomene iſt leicht be-

greiflich. Die in einer rotirenden Kupferſcheibe erregten Ströme haben ihre Wirkungsmittelpuncte n und s zu beiden Seiten des wirkſamen Magnetpoles. Da die elektr. Vertheilung nothwendig da, wo ſie zu Ende geht, ſtärker ſeyn muß, als da, wo ſie gerade anfängt, weil jene mit der ganzen Summe der Kräfte wirkt, welche die Platte durch den Magnetpol erhalten hat; ſo hat die Reſultante aller Ströme eine ſchiefe Richtung gegen den Magnetpol, und der vertical aufwärts wirkende Theil dieſer Kraft muß den Magnetpol abſtoßen. Die Lage der Wirkungsmittelpuncte n und s richtet ſich natürlich nach der Lage der Projection des Magnetpoles auf der rotirenden Platte. Rückt dieſer Pol gegen das Centrum der Platte, ſo bewegen ſich auch n und s dahin, und es wird nach Maßgabe dieſer Annäherung des Poles n an das Centrum der Platte die Vertheilung mehr oder weniger über dieſes Centrum hinausrücken, und die Kraft der ſecundären Ströme wird den Magnetpol, wenn derſelbe nahe am Centrum liegt, zu demſelben hinziehen, liegt er aber nahe am Umfange, von demſelben abſtoßen. Was von einer Kupferſcheibe geſagt wurde, gilt auch von Scheiben aus anderen Metallen und guten Elektricitätsleitern, allein die Einwirkung ſchlechter Leiter, z. B. des Glaſes, Holzes und ſelbſt der Gaſe, iſt noch nicht mit voller Klarheit aus den bekannten Geſetzen der magneto-elektriſchen Vertheilung erklärbar. (Faraday in Pogg. Ann. 25. 120; Nobili in Zeitſchr. n. F. 1. 93; Pogg. Ann. 26. 401.)

169. Die merkwürdigſte unter den Erſcheinungen dieſer Art iſt unſtreitig die gleichfalls von Faraday entdeckte Erzeugung elektriſcher Ströme durch Einwirkung eines um ſeine Axe ſich drehenden Magnetes auf ſich ſelbſt. Bringt man nämlich ein Ende eines um ſeine Axe rotirenden Magnetſtabes und eine Stelle zwiſchen ſeinen Polen mit den Galvanometerdrähten in Verbindung, ſo gibt ſich ein elektriſcher Strom zu erkennen, der, wenn das Nordende des Stabes oben gedacht wird, und der Stab ſich ſchraubenrecht dreht, von dem unterſuchten Ende (ſey es das nördliche oder ſüdliche) angefangen, durch den Galvanometerdraht zur genannten Stelle am Magnet zwiſchen den Polen, und von da im Magnete zu jenem Ende zurückgeht.

Weber betrachtet dieſe Art der Stromerregung als einen beſonderen Fall der Induction, welchen Fall er unipolare Induction nennt. Um ſich davon einen Begriff zu machen, denke man ſich einen Magnetſtab gegen einen geſchloſſenen metalliſchen Ring ſo bewegt, daß jeder Pol des Magnetes eine in ſich zurückkehrende Bahn beſchreibt, und dabei die Bahn eines Poles die Ringebene durchſchneidet, während die Bahn des andern Poles ganz außerhalb des Ringes bleibt; eine Bewegungsart, die nur möglich iſt, wenn man zugleich zuläßt, daß der Magnetſtab den Umfang des Ringes durchbrechen kann, ohne der metalliſchen Schließung des Ringes ſelbſt Eintrag zu thun. Hier wird der durch die Ringebene gehende Pol während des ganzen Verlaufes ſeiner Bewegung in dem Ringe einen elektriſchen Strom von einerlei Richtung induciren, der andere Pol aber zwei auf einander folgende Ströme von entgegengeſetzten Richtungen, deren Geſammteffect verſchwindet; die Sache wird ſich alſo gerade ſo verhalten, als wäre nur der magnetiſche Pol, welcher durch die Ringebene gegangen iſt, vorhanden geweſen. Einen ſolchen Ring bildet nun nach Weber der Galvanometerdraht mit jeder Linie, die man zwiſchen den zwei Berührungspuncten dieſes Drahtes mit dem Magnet im Inneren des letzteren denken mag, und es gibt immer ma-

gnetiſche Elemente (die ihrem Weſen nach als ſehr kleine Magnete zu betrachten ſind), welche der einen Hälfte nach durch den ſo gedachten Ring gehen, und daher in demſelben einen Strom von conſtanter Richtung induciren. Weber hält dieſe Erſcheinung nach Ampère's Hypotheſe für unerklärlich, mithin für einen Beweis der Exiſtenz räumlich geſchiedener magnetiſcher Flüſſigkeiten, wofür er noch andere beachtenswerthe Gründe beibringt; doch ſcheint es, daß die in Ampère's Hypotheſe die magnetiſchen Elemente vertretenden Solenoide auch in dieſem Falle ganz eben ſo wirkend gedacht werden können, wie die magnetiſchen Elemente mit getrennten Polen. (Reſultate d. magnet. Vereines für 1839. S 63; Pogg. Ann. 52. 353.)

Die in dieſem Kapitel vorgetragenen Lehren geben deutlich zu erkennen, daß die magneto-elektriſche Induction das Gegenſtück der elektro-magnetiſchen Action iſt; Elektricität in Bewegung ruft als laterale Wirkung Magnetismus hervor: Magnetismus in Bewegung, wenn auch nur in relativer, hat als laterale Wirkung Elektricität zur Folge. Doch mangelt es bis jetzt an einer auf klare Begriffe ſich gründenden Zuſammenfaſſung beider Wirkungsweiſen unter einerlei Geſichtspunct. Wie allverbreitet die Thätigkeit elektriſcher Ströme in der Natur ſeyn muß, läßt ſich aus dem Umſtande entnehmen, daß den ſo eben erklärten Geſetzen zu Folge kein Leiter der Elektricität ſich bewegen kann, ohne daß die Elektricität in ihm durch den Erdmagnetismus in Strömung verſetzt wird, ſo wie die Erde ſelbſt in dem Umſchwunge um ihre Axe eine continuirliche Veranlaſſung zur Erweckung elektriſcher Ströme an ſich trägt.

Fünftes Kapitel.

Thermoelektricität.

170. Die Wärme iſt gleichfalls eine der Urſachen, welche das Entſtehen eines elektriſchen Zuſtandes bewirken. An iſolirten wie auch an ſchlechten Leitern bringt eine örtliche Temperaturänderung elektriſche Spannung hervor; an Leitern, welche der Elektricität eine Ausgleichung geſtatten, entſteht unter dieſen Umſtänden ein elektriſcher Strom.

171. Folgende Thatſachen beweiſen das Eintreten elektriſcher Spannung durch Temperaturänderung: Bringt man am Deckel eines guten Condenſators einen Platindraht an, deſſen über den Deckel hervorragendes Stück ſpiralförmig zuſammengewunden iſt, und erhitzt man daſſelbe zum Rothglühen; ſo findet man, wenn man die Baſis des Condenſators mit der Hand, und die Spirale mit einem feuchten Papiere oder mit einem durch Hitze leitend gemachten Glasſtabe berührt, den Condenſatordeckel negativ, den Papierſtreifen oder den Glasſtab poſitiv-elektriſch (Zeitſchr. 10. 200). An ſchlechten Leitern treten durch Erwärmung beide Elektricitäten deutlich hervor. Dieſes zeigt ſich beſonders auffallend am kryſtalliſirten Turmalin. Wird nämlich ein ſolcher, beſonders wenn er im Inneren rein und nicht zerklüftet iſt, und zu der hell gefärbten durchſichtigen Varietät gehört, bis 30° C. gleichmäßig erwärmt, ſo erſcheint er an einer Hälfte poſitiv, an der andern

negativ, und wird dieſes immer mehr, je höher ſeine Temperatur ſteigt, doch darf ſie nicht ſtationär werden. Sobald ſie nicht mehr ſteigt, verſchwindet auch die Elektricität; ſobald ſie abzunehmen beginnt, erſcheint der Kryſtall wohl wieder elektriſch, doch hat, wenn die Erkaltung ſeine ganze Maſſe trifft, der Theil, welcher vorhin +E zeigte, nun —E. Der Uebergang von einem elektriſchen Zuſtande in den entgegengeſetzten erfolgt ſehr ſchnell. Die Stärke ſeiner Elektricität iſt der Erwärmungs- oder Erkaltungsgeſchwindigkeit nicht proportionirt. Iſt nur ein Theil eines Turmalins im Erwärmen und Erkalten begriffen, ſo verhält ſich der ganze Kryſtall ſo, als beſtünde dieſer aus zwei Theilen, deren jeder für ſich einen eigenen, ſelbſtſtändigen, elektriſchen Zuſtand annimmt, und der des einen Theiles iſt jenem des anderen entgegengeſetzt. Doch zeigt ein ſolcher Kryſtall unter gewiſſen Umſtänden nur eine Elektricität, ohne daß man wahrnehmen kann, was aus der anderen geworden iſt. Zerſchneidet man einen Turmalin, während er elektriſch iſt, ſo erſcheint jedes Stück deſſelben mit einer poſitiven und einer negativen Hälfte, und zwar haben die Flächen, welche mit einander verbunden waren, entgegengeſetzte Elektricität. Man kann einen Turmalin ſelbſt zu Pulver zerſtoßen, und doch wird jedes Theilchen Zeichen des zweifachen elektriſchen Zuſtandes von ſich geben. Es ſind aber nicht alle Turmaline der elektriſchen Erregung durch Wärme in gleichem Grade fähig, in der Regel werden die kleinſten am leichteſten elektriſch. Turmaline, welche einer ſtarken Elektriſirung fähig ſind, werden durch ſchnelle und durch langſame Erwärmung gleich elektriſch. Aehnliche Erſcheinungen bemerkt man auch an anderen, ſelbſt an künſtlich erzeugten Kryſtallen, immer aber nur an hemiedriſchen, d. i. an ſolchen, deren Kryſtallflächen an den zwei einander gegenüberſtehenden Enden nicht ſymmetriſch angeordnet ſind. Es ſind aber nicht immer zwei elektriſche Pole wie beim Turmalin, ſondern oft mehrere vorhanden. So z. B. hat ein Boracit acht elektriſche Pole, wenn er auch nur eine Linie im Durchmeſſer hat. Einen Topaskryſtall fand Haüy an beiden Enden negativ, in der Mitte poſitiv-elektriſch; nach Erman (Pogg. Ann. 25. 615) hingegen hat ein braſilianiſcher erwärmter Topas in der Axe und parallel mit derſelben —E, ſenkrecht darauf +E. Auch iſt die zur Elektricitätserregung nöthige Temperaturgrenze nicht bei allen gleich. Der Turmalin braucht eine Wärme von 30° C. Galmei iſt ſchon bei der gewöhnlichen Luftwärme elektriſch. (Zeitſchr. 4. 356. Schweigg. J. 43. 87. Pogg. Ann. 13. 623. G. Roſe ebend. 39. 285.)

Kryſtalle, an denen man durch Temperaturänderung Elektricität erregen kann, ſind: Turmalin, Topas, Axinit, Boracit, Meſotyp, Prehnit, Zinkoxyd, Sphen, Scolecit, Meſolit, Kalkſpath, gelber Beryll, Schwerſpath, ſchwefelſaurer Strontian, kohlenſaures Blei, Diopſid, rother und blauer Flußſpath, Diamant, Auripigment, Analcim, Amethyſt, Quarz aus der Dauphiné, Idokras, Honigſtein, natürlicher Schwefel, Granat, Dichroit, weinſteinſaures Kali und Natron, Weinſteinſäure, kleeſaures Ammoniak, chlorſaures Kali, Bitterſalz, ſchwefelſaures Ammoniak, Eiſenvitriol, blauſaures Kali, Zucker, eſſigſaures Blei, kohlenſaures Kali, Citronenſäure, Queckſilberſublimat.

172. Wenn man zwei Metallſtücke derſelben Natur mit den Enddrähten eines Multiplicators verbindet, dann eines der Metalle erhitzt und hierauf beide in gegenſeitige Berührung bringt; ſo zeigt die Magnetnadel alſogleich einen elektriſchen Strom an, den man mit Recht einen thermo-elektriſchen nennen kann, weil er einzig und allein durch Temperaturdifferenz hervorgerufen wird. Die Stärke dieſes Stromes richtet ſich nach der Natur der Metalle und ihrer Temperaturdifferenz, in Bezug auf deſſen Richtung zerfallen aber die Metalle nach Emmet's und Nobili's Verſuchen in zwei Claſſen, nämlich in ſolche, wo der poſitive Strom mit dem Gange der Wärme einerlei Richtung hat, und in andere, wo Wärme und Elektricität einander entgegengehen. In die erſte Claſſe gehören: Platin, Gold, Silber, Kupfer, Nickel; in die zweite: Zinn, Blei, Zink, Eiſen, Queckſilber, Arſenik, Antimon, Wismuth. Eine etwaige Oxydirung eines Metalles beim Erwärmen bringt eine Störung in dieſem Geſetze hervor (Emmet in Silliman's Journal 25. 271 und 26. 311; in Dove's Repertorium 1. 344). Es iſt nicht einmal nothwendig, die ungleich warmen Metallſtücke mit einander in unmittelbare Berührung zu bringen; denn Andrew's (Pogg. Ann. 41. 164) hat derlei elektriſche Ströme auch erhalten, als er die Metalle von ungleicher Temperatur in einen Tropfen eines geſchmolzenen und dadurch leitend gewordenen Salzes (Borax, kohlenſaure und ſchwefelſaure Soda, kohlenſaures Kali, Chlorkalium, Jodkalium, Chlorſtrontium, borſaure Soda ꝛc.) ſteckte. Anſtatt die Metallſtücke erſt nach dem Erwärmen in Berührung zu bringen, kann man ſie auch erſt, wenn ſie ſchon einander berühren, erwärmen; ja man kann ſogar mit Erfolg an einem großen Metallſtücke eine örtliche Erwärmung hervorbringen, und auch in dieſem Falle ſich vom Daſeyn eines elektriſchen Stromes überzeugen. Wird ein Kupferdraht zu einem Vierecke zuſammengebogen, wie Fig. 262 zeigt, und das hervorſtehende Ende b erwärmt, ſo tritt ein elektriſcher Strom in der Richtung der beigeſetzten Pfeile ein, und iſt ſchon ohne Multiplicator bemerklich. Windet man die mit einander verſchlungenen Enden eines Multiplicators ſchraubenförmig zuſammen und erhitzt ſie dann, ſo weicht alſogleich die Magnetnadel aus, zum Beweiſe, daß ein elektriſcher Strom eingetreten ſey. Verbindet man mit jedem Ende eines Multiplicatordrahtes einen getrockneten Thoncylinder, erhitzt einen derſelben am äußerſten Ende und berührt ihn dann mit dem zweiten; ſo zeigt ſich alſogleich ein vom warmen zum kalten Cylinder gehender Strom. Verſuche über Thermo-Elektricität in einem einzigen Metalle gelingen beſonders gut mit kryſtalliniſchen Metallen, z. B. mit Wismuth, Antimon ꝛc. An einem Wismuth- oder Antimonringe, der mit einer Flamme an einer Stelle erwärmt worden, fand Seebeck zwei Puncte, deren Erwärmung die ſtärkſte, und zwei andere, deren Erwärmung gar keine Elektricität gibt; man muß ſie aber an jedem Ringe eigens aufſuchen. Erhitzt man einen Cylinder oder ein Prisma von Wismuth an einer Stelle und ſtellt ſie dann im magnetiſchen Meridian unter eine empfindliche Magnetnadel, und dreht dabei den Stab

um ſeine Axe; ſo findet man immer mehrere Stellen, von welchen die Nadel afficirt wird. Dieſe liegen meiſtens mit der Axe des Stabes parallel, und je zwei derſelben haben eine Stelle zwiſchen ſich, welche gar nicht auf die Nadel wirkt. Yelin hat durch hölzerne Stäbe, in denen nach beſtimmten Richtungen längs der Axe leitende Dràhte gezogen waren, durch welche ein ſchwacher elektriſcher Strom geleitet werden konnte, dieſelben Wirkungen erhalten, wie an einem erhitzten Wismuthſtabe. (Seebeck in Pogg. Ann. 6. 133, 253. Yelin in Gilb. Ann. 73. 415. Schweigg. J. 37. 21. Nobili in Zeitſchr. 4. 350; 10,200, 221; Sturgeon in Zeitſchr. 10. 221.)

173. Sind die mit den Multiplicatorenden verbundenen, ungleich warmen Metallſtücke von ungleicher Natur, ſo entſteht bei ihrer Berührung um ſo eher ein elektriſcher Strom. Die Richtung dieſes hängt aber nun von der Natur der Metalle und dem Gangunterſchiede der Wärme in denſelben ab. Es iſt klar, daß auch dieſe Metalle erſt, nachdem ſie ſchon mit einander verbunden, bloß zuſammengedrückt oder gar zuſammengelöthet ſind, an der Verbindungsſtelle erwärmt werden können. Da iſt die Richtung des Stromes bloß von der Natur der Metalle abhängig, weil durch dieſe auch ſchon der Gang der Wärme beſtimmt wird. Wird die Verbindungsſtelle ſtatt erwärmt zu werden erkaltet, ſo tritt auch der elektriſche Strom in entgegengeſetzter Richtung auf. So geht, z. B. wenn man ein Stäbchen aus Wismuth mit einem aus Antimon (Spießglanz) an einem Ende zuſammenlöthet, ſo daß ſich die Metalle nur an dieſem Ende berühren, und die freien Enden mit einem Fechner'ſchen Galvanometer, oder mit einem andern, deſſen Gewinde eine geringere Länge dicken Drathes enthält, in Verbindung bringt, ſo gibt ſich bei der Erwärmung der Löthſtelle nur mit der Hand ein elektriſcher Strom zu erkennen, der vom Wismuth durch die Löthſtelle zum Spießglanz geht. Wird die Verbindungsſtelle erkältet, oder was dasſelbe thut, werden die freien Enden erhitzt, ſo geht der Strom vom Spießglanz zum Wismuth. Man kann die Metalle in eine Reihe (thermo=elektriſche Reihe) zuſammenſtellen, in welcher ſie ſo auf einander folgen, daß im Falle der Erhitzung der Verbindungsſtelle der poſitive Strom der Elektricität immer vom nachfolgenden zum vorhergehenden geht, und bei derſelben Temperaturdifferenz deſto ſtärker iſt, je weiter die Metalle in dieſer Reihe von einander abſtehen. Bei mancher thermo=elektriſchen Kette iſt die Stromſtärke innerhalb gewiſſer ziemlich weit von einander abſtehenden Grenzen der Temperaturdifferenz proportional, in anderen kann man auf dieſe Proportionalität nur innerhalb ſehr enger Grenzen oder auch gar nicht rechnen. So z. B. findet bei einer Wismuthkupferkette dieſe Proportionalität zwiſchen — 17° C. und + 17° C. Statt, bei einer Eiſenplatinkette ſcheint ſie aber gar nicht vorhanden zu ſeyn. (Pouillet in Pogg. Ann. 39. 567 und 41. 144.) Die Erfahrung hat gelehrt, daß, wenn man die thermo=elektriſche Kraft des erſten Metalls der genannten Reihe mit allen folgenden beſtimmt hat, die Kraft jeder be=

liebigen Combination aus dieſer Reihe dem Unterſchiede der Kräfte in Bezug auf das erſte gleich ſey.

So z. B. fand man für eine beſtimmte Temperaturdifferenz die Kraft einer Kette aus Eiſen und Silber = 26,20, aus Eiſen und Kupfer = 27,96, aus Eiſen und Zinn = 31,24, und aus Eiſen und Platin = 36,07, und daher iſt die Kraft einer Kette aus Kupfer und Silber = 27,96 — 26,20 = 1,76, aus Platin und Silber = 36,07 — 26,20 = 9,87 ꝛc. Beſagte Reihe iſt nach Seebeck folgende: Wismuth, Nickel, Kobalt, Palladium, Platin, Uran, Kupfer, Mangan, Titan, Meſſing Nr. 1, Gold Nr. 1, Kupfer, Meſſing Nr. 2, Platin Nr. 2, Queckſilber, Blei, Zinn, Platin Nr. 1, Chrom, Molybdän, Kupfer, Rhodium, Iridium, Gold Nr. 2, Silber, Zink, Kupfer Nr. 3, Wolfram, Platin Nr. 4, Cadmium, Stahl, Eiſen, Arſenik, Antimon, Tellur. (Seebeck in Pogg. Ann. 6. 17; Becquerel in Zeitſchr. 1. 430.)

174. Man kann die bisher beſprochenen thermo-elektriſchen Ketten als einfache betrachten, und mehrere derſelben zu einer zuſammengeſetzten Säule oder thermo-elektriſchen Batterie verbinden, indem man die einzelnen Elemente nach der Reihe mit den freien Enden zuſammenlöthet, und nur vom erſten und letzten ein Ende frei läßt. Nach Maßgabe des Gebrauches, für welchen derlei Thermoſäulen beſtimmt ſind, werden ſie auch in Hinſicht auf die Dimenſionen, materielle Beſchaffenheit, und Anordnung der dazu verwendeten Metallſtäbe verſchieden conſtruirt, jedoch immer ſo, daß man die 1ste, 3te, 5te ꝛc., oder die 2te, 4te, 6te ꝛc. Löthſtelle zugleich erwärmen oder erkalten kann.

Das gewöhnliche Material zu thermo-elektriſchen Säulen iſt Wismuth und Spießglanz; man verwendet dazu prismatiſche Stücke aus genannten Metallen, angefangen von einigen Linien Breite und Dicke und 1½—2 Zoll Länge, bis zu einer ſolchen Dünne, als es die Bearbeitung der fragilen Metalle geſtattet, und ¾—1 Zoll Länge. Dickere Stücke ordnet man gewöhnlich zu parallelepipediſchen Säulen zuſammen, und wendet zur Iſolirung der Metalle, die nur an den Verbindungsſtellen ſich berühren dürfen, Gips an; dünnere Stängelchen kann man jedoch auch kamm- oder ſternartig an einander fügen (Kammſäulen und Strahlenſäulen). Will man die homologen Enden einer Säule höheren Temperaturen ausſetzen, ſo muß man andere Metalle wählen; in dieſem Falle gebraucht man Packfong und Eiſen, oder Platin und Eiſen (Nobili in Pogg. Ann. 36. 525; Dove ebend. 44. 592). Eine Säule aus zarten Wismuth- und Spießglanzſtängelchen iſt für ſtrahlende Wärme äußerſt empfindlich. Man kann damit eine Temperaturdifferenz von $\frac{1}{6000}$ Grad R. bemerklich machen (Zeitſchr. n. F. 1. 187.)

175. Der thermo-elektriſche Strom gibt ſich nicht bloß durch ſeine Wirkung auf eine Magnetnadel zu erkennen, ſondern er kann auch alle übrigen Wirkungen hervorbringen, die man von anderen elektriſchen Strömen kennt. Man hat bereits durch ſolche Ströme Froſchſchenkel in Zuckungen verſetzt, Waſſer und Salze zerlegt, Funken und ſelbſt Temperaturerhöhungen hervorgebracht. Es unterſcheidet ſich dem-

nach ein ſolcher Strom in nichts von einem anderen. Daß er nicht fähig iſt, einigermaßen dicke Flüſſigkeitsſchichten oder lange Leitungsdrähte zu durchſtrömen, ohne eine an Vernichtung grenzende Schwächung zu erleiden, rührt davon her, daß ein ſolcher Strom in einer ganz aus Metallen beſtehenden, meiſtens ſehr kurzen Kette ſeinen Urſprung hat, wo er nur einen ſehr geringen Leitungswiderſtand erfährt, und daher jede Zugabe in der Länge des Schließungsdrahtes oder in der Dicke der flüſſigen Schichte einen relativ großen Widerſtand erzeugt.

Nobili hat zuerſt mittelſt eines thermo-elektr. Stromes Zuckungen an Froſchſchenkeln hervorgebracht, Botto in Turin gelang es mittelſt einer Platineiſenſäule von 120 Elementen von 1 Z. Länge und $^1/_4$ Z. Dicke, geſäuertes Waſſer zu zerſetzen; Becquerel zerlegte gar mit einem einzigen Elemente aus Platin und Kupfer Metallſalze, wenn er den Pol des Elementes mit jenem Metall bekleidete, deſſen Oxyd dem Salze zur Baſis diente; Antinori brachte mit einer Säule aus 25 Antimon-Wismuthelementen einen glänzenden Funken hervor, wenn er die Kette durch einen ſpiralförmigen, langen, um einen weichen Eiſenſtab gewundenen Drath ſchloß; Watkins endlich erzielte dasſelbe mit einer einfachen Antimon-Wismuthkette, die er durch einen zuſammengerollten Kupferſtreifen, deſſen Windungen durch einen iſolirenden Stoff getrennt waren, ſchloß. Derſelbe hat auch mit einer maſſiven Thermoſäule von 218 Wismuth-Antimonelementen von 4 Zoll Länge an einem Luftthermometer bemerkliche Temperaturerhöhung erzeugt. (Nobili in Pogg. Ann. 14. 161; Botto ebend. 28. 238; Wheatſtone ebend. 41. 160; Watkins in *Phil. Mag.* 11. 399 und 304, 14. 32.)

Um derlei Verſuche auf eine ſichere Weiſe zu machen, dient am beſten eine Wismuth-Spießglanzſäule von 16--25 maſſiven Elementen, deren unteres, die eine Reihe der Löthſtellen enthaltendes Ende man in ſiedendes Waſſer taucht, während man das obere durch Eis oder auch nur durch einen Strom kalten Waſſers abkühlt, den man aus einer Mariotte'ſchen Flaſche darauf gehen und durch ein Abzugsrohr oder einen Heber ablaufen läßt. Eine ſolche Säule bringt Elektromagnete zu Stande, ſetzt das Barlow'ſche Rädchen und ähnliche Apparate in Bewegung, erzeugt inducirte Ströme, deren Intenſität, wenn man eine Drahtrolle mit Eiſenkern anwendet, ſich bis zu bedeutenden Funken und merklichen Stößen ſteigern läßt.

176. Die Kenntniß der thermo-elektriſchen Ströme iſt in theoretiſcher und praktiſcher Hinſicht gleich wichtig. Man kann, auf dieſe Kenntniß geſtützt, überall, wo in guten geſchloſſenen Leitern Temperaturunterſchiede Statt finden, mit Grund das Daſeyn elektriſcher Ströme annehmen. Namentlich gilt dieſes vom Inneren der Erde, deren Ströme vielleicht zur Kraft des Erdmagnetismus beitragen, und durch die ſtets wandelbare und immer nur auf einen Theil der Erde wirkende Kraft der Sonne hervorgebracht werden müſſen. In einigen Erzgängen hat man das Daſeyn ſolcher Ströme wirklich ſchon nachgewieſen (Zeitſchr. 10. 118). In practiſcher Beziehung gibt uns die Thermo-Elektricität ein treffliches Mittel an die Hand, elektr. Ströme von conſtanter Stärke zu gewinnen, indem man, um einen ſolchen zu erzeugen, nur die Temperaturdifferenz einer Kette unveränderlich zu

erhalten braucht. Deßhalb eignet ſie ſich ganz vorzüglich zur experimentalen Demonſtration des Ohm'ſchen Geſetzes. Dieſelbe bietet uns auch treffliche Mittel dar, ſowohl ſehr hohe als ſehr niedere Temperaturen, beſonders aber ſehr kleine Temperaturdifferenzen zu meſſen, wovon in der Lehre von der Wärme ausführlicher die Rede ſeyn wird.

Merkwürdig iſt Peltier's Entdeckung, daß ſo wie eine Erwärmung der Verbindungsſtelle eines Wismuth- und Spießglanzſtängelchens einen vom Wismuth zum Spießglanz gehenden elektriſchen Strom hervorruft, ein elektriſcher Strom, den man vom Wismuth zum Spießglanz ſendet, Kälte erzeugt, was ſich mittelſt eines in die Kugel eines Luftthermometers eingefügten thermo-elektriſchen Elementes aus genannten Metallen leicht nachweiſen läßt. Erwärmung findet Statt, wenn der elektriſche Strom vom Spießglanz zum Wismuth geht, in der Richtung nämlich, in welcher ihn die Erkältung der Verbindungsſtelle der Metalle hervorbringt.

Sechstes Kapitel.

Hinderniſſe des elektriſchen Stromes.

177. Schon der im Verlaufe der vorhergehenden Unterſuchungen ſo oft beſprochene Unterſchied zwiſchen guten und ſchlechten Elektricitätsleitern zeigt, daß die verſchiedenen Stoffe nach Maßgabe der materiellen Beſchaffenheit der Fortpflanzung der Elektricität ein ſehr verſchiedenes Hinderniß in den Weg ſetzen. Da aber von den ſogenannten Leitern zu den Nichtleitern kein plötzlicher Sprung beſteht, ſondern ein allmäliger Uebergang durch alle Abſtufungen von Halbleitern obwaltet, ſo läßt ſich darnach ſchon vorausſehen, daß auch zwiſchen den beſten Elektricitätsleitern, der ungeheuren Geſchwindigkeit ungeachtet, mit welcher die Fortpflanzung der Elektricität in denſelben vor ſich geht, in Hinſicht auf das Leitungsvermögen ſelbſt noch gewaltige Unterſchiede Statt finden mögen. Die Wirkungen der aus den bisher betrachteten Elektricitätsquellen entſpringenden Ströme bieten uns genaue Mittel dar, die Stoffe in Betreff ihrer Leitfähigkeit für Elektricität mit einander zu vergleichen. Es kommt nämlich nur darauf an, die Längen cylindriſcher Säulen oder Drähte aus den zu unterſuchenden Stoffen auszumitteln, welche bei einerlei Querſchnitt in den Schließungskreis einer Quelle ſtrömender Elektricität eingeſchaltet, in Bezug auf einerlei Ablenkung der Magnetnadel einander äquivalent ſind; die elektriſche Leitungsfähigkeit dieſer Stoffe ſteht dann im directen, oder der Leitungswiderſtand im verkehrten Verhältniſſe genannter Längen.

Allgemein geſprochen, kann man die Leitungsfähigkeit, bei äquivalentem Verhalten in demſelben Schließungskreiſe, dem Quotienten der Länge eines cylindriſchen Leiters getheilt durch den Querſchnitt proportionirt ſetzen. Es wird nämlich eine ſolche Aequivalenz durch die Gleichheit der reducirten Längen bedingt (120), woraus der hier ausgeſprochene Satz unmittelbar hervorgeht. Kennt man endlich die Stromſtärken bei zwei oder mehreren Verſuchen, welche Stromſtärken aus den Ab-

lenkungen der Magnetnadel erkannt werden, und hat man überdieß die reducirte Länge des conſtanten Theiles des Schließungskreiſes gefunden, ſo verhalten ſich die reducirten Längen des ganzen Kreiſes verkehrt wie die Stromſtärken, woraus ſich die Verhältniſſe der reducirten Längen der ſucceſſiv eingeſchalteten Theile und daher auch jene der zu vergleichenden Leitungsfähigkeiten nach der Ohm'ſchen Formel ergeben. Die Uebereinſtimmung der für einerlei Material aus verſchiedenen Verſuchen erſchloſſenen Werthe des Productes aus der reducirten Länge der als Theile des Schließungskreiſes angewandten cylindriſchen Körper in den Quotienten des Querſchnittes getheilt durch die Länge, wie auch die Uebereinſtimmung der Werthe der reducirten Länge der Elektricitätsquelle ſammt zugehörenden unveränderlich beibehaltenen Elektroden, iſt zugleich ein ſchlagender Beweis für die Richtigkeit des Ohm'ſchen Geſetzes

Als Beiſpiel, welche Uebereinſtimmung ſich hierin erzielen läßt, mag ein von Pouillet angeſtellter Verſuch dienen. Dieſer Gelehrte leitete den elektriſchen Strom einer Zinkkupferkette direct und ohne einen Zwiſchenleiter anzuwenden, durch einen unmittelbar auf eine Magnetnadel wirkenden Kupferſtreifen, und beſtimmte die Stromſtärke. Hierauf ſchaltete er Kupferdrähte von gleicher Dicke aber verſchiedener Länge ein, und nahm für jeden einzelnen Fall die Beſtimmung der Stromſtärke abermals vor. Dieſe betrug da, wo kein Draht zugefügt war, 2,100; hingegen nachdem man nach der Reihe Drähte von 1, 2, 4, 8, 16 Meter Länge eingeſchaltet hatte, nach der Ordnung 0,707, 0,445, 0,243, 0,132, 0,064. Heißt nun die Drahtlänge, welche das Element in Bezug auf Leitungswiderſtand erſetzt, $= x$, ſo iſt

$$x : x + 1 = 707 : 2100 \text{ mithin } x = 0{,}52$$
$$x : x + 2 = 445 : 2100 \quad » \quad x = 0{,}54$$
$$x : x + 4 = 243 : 2100 \quad » \quad x = 0{,}53$$
$$x : x + 8 = 132 : 2100 \quad » \quad x = 0{,}53$$
$$x : x + 16 = 64 : 2100 \quad » \quad x = 0{,}54$$

folglich im Durchſchnitt $x = 0{,}52$ Meter (Pouillet in Pogg. Ann. 42. 281).

178. Obgleich eine Volta'ſche Kette ſich nach Daniell's Einrichtung längere Zeit bei unveränderter Kraft erhalten läßt, ſo wird ſie doch hierin durch ein thermo-elektriſches Element, deſſen Kraft ſich, ſo oft es nöthig iſt, wieder in derſelben Stärke herſtellen läßt, bei Weitem übertroffen; dieſes iſt daher zu ſolchen Unterſuchungen ſehr geeignet. Eine beſondere Empfehlung verdienen aber magneto-elektriſche Ströme, die entweder durch Abreißen eines cylindriſchen mit Draht umwickelten Ankers von einem Hufeiſenmagnete (Lenz) oder durch Bewegung einer Drahtrolle längs eines Magnetſtabes von einem Ende deſſelben bis zur Mitte oder umgekehrt (Gauß) erzeugt worden ſind. Obgleich die Stärke des Stromes hier von der Geſchwindigkeit der Bewegung abhängt, und zwar letzterer proportionirt iſt, ſo erſcheint die Geſammtwirkung deſſelben auf die Magnetnadel doch davon unabhängig, weil die Dauer des Stromes wieder der Geſchwindigkeit der inducirenden Bewegung verkehrt proportionirt iſt. Wegen der Schnelligkeit und Bequemlichkeit, mit welcher ſich die Erregung der Elektricität durch magneto-elektriſche Induction beliebig oft, ohne weitere Vorbereitung zu Stande bringen läßt, und wegen der ſtoßweiſen Wirkung des Stromes, welche eine beſonders leichte Benützung jedes

Galvanometers erlaubt, iſt dieſe Methode in allen Fällen vorzüglich anwendbar. Wenn es jedoch darauf ankommt, die Leitfähigkeit eines Theiles eines Schließungskreiſes für die am Conductor einer Maſchine oder an den Glasflächen einer Leidnerflaſche angehäufte Elektricität zu beurtheilen, verſagt der Multiplicator den Dienſt, denn die Indicationen deſſelben werden von der Beſchaffenheit des Schließungsleiters aus dem Grunde unabhängig, weil dieſe Elektricität nicht erſt in dem Maße binnen gleichen Zeiten reichlicher entſteht, als der Widerſtand der Schließung geringer iſt, ſondern ſich entweder ſchon fertig vorfindet, oder deren Entwicklung doch nur von dem Spiele der Elektriſirmaſchine abhängt, und wenn die Leitung nicht durch Iſolatoren unterbrochen iſt, ſich vollſtändig entladet, mithin ſtets dieſelbe Elektricitätsmenge, wenn gleich etwas mehr oder weniger verzögert, aber immer nur während einer ſehr kurzen Zeit auf die Magnetnadel einwirkt. In dieſem Falle muß man zum Behufe der Meſſung zu anderen Hilfsmitteln greifen. Rieß hat bei ſeinen genauen Verſuchen hiezu die Erwärmung eines beſtimmten, in den Schließungskreis eingeſchalteten Stückes Platindraht in Anwendung gebracht, welche, wie die Verſuche lehren, der Dauer der Entladung verkehrt proportionirt iſt, und aus den Anzeigen eines den Draht in ſich faſſenden Luftthermometers erſchloſſen werden kann.

Schon Harris hatte einen ähnlichen Weg eingeſchlagen. Die von Prieſtley und v. Marum verſuchte Beſtimmung des Leitvermögens der Metalle nach der Länge des durch die Entladung einer gleichmäßig geladenen Batterie geſchmolzenen Drahtes iſt zur Zuſtandebringung genauer Reſultate minder geeignet.

179. Nach den bisher angeſtellten Unterſuchungen iſt die Leitfähigkeit eines Metalles ohne Vergleich größer, als die des beſten flüſſigen Leiters. Bemerkenswerth iſt es, daß die Metalle die Elektricität leiten, ohne zerſetzbar zu ſeyn, während die meiſten anderen Körper vom geleiteten Strome zerſetzt werden. Durch Temperaturerhöhung wird die Leitfähigkeit in einigen Körpern, wie z. B. in Metallen, geſchwächt, in anderen, wie z. B. Schwefelſilber, verſtärkt; doch iſt dieſe Schwächung in verſchiedenen Metallen verſchieden, und ſcheint nur bis zu einer beſtimmten Temperatur zu gehen, über welche hinaus jede weitere Steigerung der Temperatur die Leitfähigkeit wieder erhöht. Aus dieſen Geſetzen erklärt man mehrere überraſchende Erſcheinungen, z. B. warum man eine Volta'ſche Säule leichter iſolirt, als den Conductor einer nur etwas kräftigen Elektriſirmaſchine; warum ein Zinkkupferelement im Waſſer eine Spannung zeigt, wie in der Luft; warum ein langer Polardraht von einer ſehr gut leitenden Maſſe bei derſelben Säule keine ſtärkere Ablenkung der Magnetnadel hervorbringt, als ein kürzerer von einer viel weniger leitenden Maſſe; warum ein dünnerer Draht leichter durch einen elektriſchen Strom glühend wird als ein dicker; warum ein nur ſchwach glühender Draht alſogleich lebhafter glüht, wenn man ihn an einer Stelle mit Eis umgibt; warum glühendes Glas, geſchmolzenes Siegellack, Pech, Wachs die Elektri-

cität nicht mehr iſoliren ꝛc. Ob es für urſprünglich gleiche, aber von verſchiedenen Quellen kommende Ströme in demſelben Leiter verſchiedene Widerſtände gebe, und daher in dem elektriſchen Strome ähnliche Unterſchiede Statt finden, wie in den Strahlen des Lichtes und der Wärme, iſt nicht ausgemacht, aber durch mehrere Erſcheinungen angedeutet. (La Rive in *Ann. de Chim.* 37. 286; Pogg. Ann. 37. 235.)

Die numeriſchen Daten, welche man bei Unterſuchungen über das elektriſche Leitvermögen verſchiedener Körper fand, ſind folgende: Nach Becquerel: Kupfer = 100; Gold = 93,60; Silber = 73,60; Zink = 28,50; Platin = 16,40; Eiſen = 15,80; Zinn 15,50; Blei = 8,30; Queckſilber = 3,45; Kalium = 1,33. Nach Ohm (der auch auf den Leitungswiderſtand der Säule Rückſicht nahm): Kupfer = 100; Gold = 57,4; Silber = 35,6; Zink = 33,3; Meſſing = 28,0; Eiſen = 17,4; Platin = 17,1; Zinn = 16,8; Blei = 9,7. Nach Davy: Silber = 109,1; Kupfer = 100; Gold = 72,7; Blei = 69,1; Platin = 18,2; Palladium = 16,4; Eiſen = 14,6. Nach Lenz: Kupfer bei 0° C. = 100,00, bei 100° C. = 73,00, bei 200° C. = 54,82; Silber bei 0° = 136,25, bei 100° = 94,46, bei 200° = 68,72; Gold bei 0° = 79,79, bei 100° = 65,20, bei 200° = 54,49; Zinn bei 0° = 30,84, bei 100° = 20,44, bei 200° = 14,78; Meſſing bei 0° = 29,33, bei 100° = 24,78, bei 200° = 21,45; Eiſen bei 0° = 17,74, bei 100° = 10,87, bei 200° = 7,00; Blei bei 0° = 14,62, bei 100° = 9,6, bei 200° = 6,76; Platin bei 0° = 14,16, bei 100° = 10,93, bei 200° = 9,02. Das Minimum der Leitkraft findet Statt im Silber bei 3100,05 R. mit 59,00, in Kupfer bei 359°.00 mit 43,70, in Gold bei 349°,10 mit 50,06, in Zinn bei 269°,2 mit 13,64, in Meſſing bei 421°,50 mit 18,46, in Eiſen bei 278°.80 mit 6 01, in Blei bei 282°,6 mit 6,02, in Platin bei 295°,3 mit 8,41, jene des Kupfers bei 0° mit 100,00 angenommen. Nach Rieß: Kupfer = 100,00; Silber 148,74; Gold 88,87; Cadmium 38,35; Meſſing 27,70; Palladium 18,18; Eiſen 17,66; Platin 15,52; Zinn 14,70; Nickel 13,15; Blei 10,32; Neuſilber 8,86. (Becquerel in Schweigg. J. 44. 359. Ohm ebend. 44. 245. 46; 137. Davy in Gilb. Ann. 71. 251. Faraday in Pogg. Ann. 31. 225. Lenz ebend. 34. 418; 45. 105. Rieß in Pogg. Ann. 45. 20.) Marianini drückt das Leitvermögen der folgenden Salzlöſungen (in 100 Th. Waſſer) ſo aus, wie es die beigeſetzten Zahlen bezeichnen: Salzſ. Platin 418, Salpeterſäure 358, ſalzſ. Gold 307, ſalp. Silber 298, ſaures, ſalpeterſ. Queckſilberprotoxyd 278, ſchwefelſ. Kupfer 258, Schwefelſäure 239, Sauerkleeſäure 179, Salzſäure 164, eſſigſ. Kupfer 154, Salmiak 150, ſauerkleeſ. Kali 149, ſalzſ. Eiſenammoniak 136, Phosphorſ. mit phosphoriger Säure 127, ſalzſ. Kalk 110, Weinſteinſäure 98,66, weinſteinſ. Kali 92, Eſſigſäure 87, Citronenſäure 85,71, Alaun 85, ſalzſ. Natrum 84,79, ſchwefelſ. Kali 80, Salpeter 78,3, benzoeſ. Kali 76,56, Glauberſalz 74,2, melanſaures Ammoniak 71,15, Benzoeſäure 70,67, kohlenſ. Natrum 69,2, neutral. chlorſ. Kali 68,9, Kalicarbon 66,7, eſſigſ. Natrum 64,9, ſchwefelſ. Magneſia 62,64, ſaures weinſteinſ. Kali 62,4, Eiſenvitriol 62,26, ſalzſ. Baryt 60, eſſigſ. Kali 59,2, ſalpeterſ. Kali 57, ſalzſ. Eiſenoxydul 56,53, Kali 55,68, chlorſ. Baryt 53,23, ſchwefelſ. Zink 51,64, Brechweinſtein 50,7, phosphorſaures Natrum 46, Borax 45,31, phosphorſ. Kali 44,74, Natrum 32,6, Aetzammoniak 26,45, Blauſäure 18,27, eiſenblauſ. Natrum 10,96, deſtill. Waſſer 1,00, Alkohol 0,323. Nach Förſtemann finden folgende Werthe Statt: Salzſäure 2,464, Eſſigſäure 2,398, Salpeter-

ſäure 2,283, Ammoniak 2,177, Schwefelſäure 1,737, Kalilauge 1,709, Kochſalzlöſung 1,672, Bleizuckerlöſung 1,560, Meerwaſſer 1,000. Nach Pfaff iſt von den nachbenannten tropfbaren Flüſſigkeiten jede vorhergehende ein beſſerer Leiter als die nachfolgenden: Verdünnte Salzſäure, ſalzſ. Platin, ſalzſ Eiſenoxyd, verdünnte Salpeterſäure, Salmiak, ſalpeterſ. Silber, conc. engl. Schwefelſäure, ſalpeterſ. Queckſilberoxyd, engliſche Schwefelſäure mit 4 Th. Waſſer, ſtarker Weineſſig, verdünnte Phosphorſäure, Zinkvitriol, Kupfervitriol, Alaun, ſalzſ. Zinnoxydul, Weinſteinſaure, Ammoniak (0,956), kleeſ. Kali, ſalpeterſ. Blei, Eiſenvitriol, eſſigſ. Kali, kohlenſ. Kali, ſalzſ. Mangan, benzoeſaures Kali, weinſteinſ. Kali, Borax, eſſigſaures Natrum, Brechweinſtein, ſchwefelſ. Mangan, chlorſ Kali, ſchwefelſ. Talkerde, ſchwefelſ. Natrum, Chlorcalcium, Salpeter, ſchwefelſ. Kali, ſalzſ. Blei, eſſigſ. Blei, deſtill. Waſſer. (Marianini in Schweigg. J. 49. 22; 284, Förſtemann in Kaſt. Arch. 6. 82, Pfaff in Gehler's Wörterb. 6. 1. Abth. 176.)

180. Wenn ein elektriſcher Strom aus einer tropfbaren Flüſſigkeit in einen feſten Körper, ſey er nun Erreger oder bloßer Leiter und umgekehrt, übergeht, ſo erleidet der Strom dadurch allein eine Schwächung, welche man den Uebergangswiderſtand zu nennen pflegt. Wiewohl de la Rive zuerſt auf denſelben hingewieſen hat, ſo gebührt doch Fechner das Verdienſt, ihn von dem richtigen Geſichtspuncte aufgefaßt und gehörig conſtatirt zu haben. Eine neuere Unterſuchung von Poggendorff entfernt jeden Zweifel an der Exiſtenz deſſelben. Die einfache Thatſache, daß die Abnahme der Stromintenſität einer einfachen Kette, bei Vergrößerung des Abſtandes der Erregerplatten ſich in einem anderen Verhältniſſe ändert, als es die bloße Steigerung des Leitungswiderſtandes wegen der größeren Dicke der Flüſſigkeitsſchicht fordert, die der Strom zurückzulegen hat, was beſonders hervortritt, wenn dieſe Platten einander ſehr nahe ſtehen; beweiſet ſchon die Exiſtenz eines von dieſem Leitungswiderſtande verſchiedenen Hinderniſſes. Hierzu geſellt ſich die Erfahrung, daß der elektriſche Strom einer Volta'ſchen Kette eine auffallende Schwächung erleidet, wenn er genöthiget wird, durch eine oder mehrere metalliſche, mit leitenden Flüſſigkeiten wechſelnde Scheidewände hindurchzugehen, und zwar eine weit größere Schwächung, als es nach dem Leitungsvermögen dieſer Scheidewände, das jenes der Flüſſigkeiten übertrifft, zu erwarten wäre. Da es jedoch bekannt iſt, daß derlei Scheidewände eine Art Ladung annehmen, vermöge welcher ſie für ſich ſelbſt elektromotoriſche Kräfte äußern, die jenen des urſprünglichen Stromes entgegenwirken (ſogenannte Polariſation vergl. 114), ſo könnte man noch immer dieſem Umſtande das fragliche Phänomen beimeſſen wollen. Allein, leitet man durch ſolche Scheidewände raſch hinter einander entgegengeſetzte Ströme, wozu ſich die magneto-elektriſche Maſchine beſonders eignet, ſo fällt jede Möglichkeit einer Ladung der Zwiſchenplatten hinweg, da die Wirkung eines jeden einzelnen momentanen Stromes durch die Gegenwirkung eines andern aufgehoben wird. Dem ungeachtet beſteht der ſchwächende Einfluß der Diaphragmen fort, wie Poggendorff's Verſuche mit einem Luft-

thermometer, durch welches der Strom geführt wurde, gezeigt haben. Die ausgezeichnete Arbeit dieſes Gelehrten (Ann. 52. 497) hat zu nachſtehenden Sätzen geführt: 1) Es gibt einen von der Elektricitätsleitung im Inneren der Körper unabhängigen Uebergangswiderſtand an der Grenze feſter und flüſſiger Leiter, und dieſer tritt nicht erſt nach längerer Dauer des elektriſchen Stromes auf, ſondern iſt ſchon vom erſten Anbeginn deſſelben da. 2) Der Uebergangswiderſtand hängt von der Natur der Flüſſigkeit und des dieſelbe berührenden Metalles ab. 3) Die Beſchaffenheit der Oberfläche des Metalles hat auf ihn den größten Einfluß. 4) Er richtet ſich nach der Stromſtärke in den einzelnen Puncten der Fläche, an welcher der Uebergang des Stromes Statt hat, und erſcheint größer, wenn der Strom ſchwächer iſt. 5) Wird die Uebergangsfläche bei einerlei Stromſtärke geändert, ſo ändert ſich dieſer Widerſtand nicht im umgekehrten einfachen Verhältniſſe der Vergrößerung dieſer Fläche, ſondern in einem kleineren. 6) Wenn die Temperatur ſteigt, wird der Uebergangswiderſtand geringer. 7) Zwiſchen Metallen iſt kein Uebergangswiderſtand vorhanden.

Bei gleicher oder ſogar geringerer elektromotoriſchen Kraft könnte daher eine Kette mit kleinerem Uebergangswiderſtande ſich kräftiger erweiſen, als eine andere. Zum Theile wenigſtens mag hierauf nach Poggendorff's Anſicht die größere Wirkſamkeit einer Zinkeiſenkette im Vergleiche mit einer Zinkkupferkette beruhen.

Siebentes Kapitel.

Nähere Erörterung der Mittel, Elektricität zu erregen.

181. Nachdem die Hauptwirkungen der Elektricität und die Geſetze, nach denen ſie ſich richten, an der Hand der Erfahrung betrachtet worden ſind, wäre noch die Frage zu erörtern, welche Urſache der Elektricitätsentwicklung zum Grunde liege. Nach dem gegenwärtigen Stande unſerer Kenntniſſe läßt ſich jedoch hierüber noch keine befriedigende Auskunft ertheilen, ſondern höchſtens eine hypothetiſche Vorſtellungsweiſe wagen. Es bleibt daher nichts übrig, als die Mittel, durch welche die Elektricität aus dem latenten Zuſtande zur Wirkſamkeit hervorgerufen wird, ſorgfältig aufzuſuchen, und die Erfahrungsdaten, welche ſie darbieten, zu künftiger Bearbeitung aufzubewahren. Wir wollen daher noch die bis jetzt entdeckten Elektricitätsquellen als ſolche einer näheren Betrachtung unterziehen.

182. Das am längſten bekannte Mittel, Elektricität zu erregen, iſt die Reibung. So verſchieden auch die ſich reibenden Körper ſeyn mögen, ſo erhält doch jedesmal einer derſelben +E, der andere —E, in einem Grade, welcher durch mehrere bekannte Umſtände, aber auch durch einige uns unbekannte Urſachen beſtimmt wird. Gute Leiter geben beim Reiben leichter einen elektriſchen Strom, als eine Span-

nung, weil ſich die entwickelten Elektricitäten in dem Augenblicke, wo die Reibung aufhört oder auch nur nachläßt, neutraliſiren, und daher nicht zu einer leicht und ohne Condenſation bemerkbaren Spannung anwachſen. In ſolchen Fällen bedient man ſich demnach zur Prüfung der Beſchaffenheit und Größe des erregten elektriſchen Zuſtandes eines Multiplicators. Iſt einer der ſich reibenden Körper ein guter, der andere ein ſchlechter Elektricitätsleiter, ſo läßt ſich die Elektricität leicht zu einer namhaften Spannung bringen, und durch Elektroſkope mit oder ohne Condenſator wahrnehmen.

183. Die Menge der durch Reiben erregten Elektricität hängt von der Natur der ſich reibenden Körper und von ihrer Temperatur ab. Die Geſchwindigkeit des Reibens und der dabei Statt findende Druck ſind wenigſtens beim Reiben des Glaſes ohne Einfluß. Schon die ſchwächſte Reibung erzeugt bemerkbare Elektricität. So z. B. werden Schwefelblumen und Mennig beim Fallen durch die Luft elektriſch; der aus einem beſtaubten Buche, beim Zuſammenſchlagen desſelben erregte Staub macht ſchon die Goldplättchen eines Elektroſkops divergiren. Die hygroſkopiſche Beſchaffenheit der geriebenen Oberfläche iſt der Elektricitätsentwicklung hinderlich, darum taugen auch weiche (meiſt waſſerziehende) Gläſer zu Elektriſirſcheiben nicht gut, und bei feuchtem Wetter, wo ſelbſt hartes Glas mit einer dünnen Waſſerſchichte überzogen iſt, wirken ſelbſt gut eingerichtete Maſchinen ſchlecht; darum hilft das Abwiſchen mit warmen Tüchern ſo ſehr. Die Größe der ſich reibenden Flächen iſt nicht ohne Einfluß auf die Elektricitätsentwicklung; doch iſt es kaum möglich, gar große Flächen vollkommen mit einander in Berührung zu bringen. Wo man aber dieſes nicht erreicht, da hat man an den von der Berührung ausgeſchloſſenen Stellen nicht bloß Puncte, die keine Elektricität geben, ſondern ſolche, welche die Verbindung der zwei bereits entwickelten Elektricitäten begünſtigen. (Peclet in *Ann. de Chim.* 57. 337.)

184. Reibt man zwei Metallplatten auf einander, ſo hängt die Beſchaffenheit der Elektricität jeder Platte von der Natur derſelben ab. In der Reihe: Antimon, Arſenik, Cadmium, Eiſen, Zink, Silber, Gold, Kupfer, Zinn, Blei, Platin, Palladium, Kobalt, Nickel, Wismuth iſt immer das vorhergehende poſitiv, das nachfolgende negativ elektriſch. Die Beſchaffenheit der Oberfläche, die Geſtalt der ſich reibenden Flächen, hat auf die Richtung des ſo erregten elektriſchen Stromes keinen Einfluß, nur das mechaniſche Zertheilen der Maſſe ſtört dieſe Ordnung, und der zertheilte Körper hat in der Regel eine Neigung negativ zu werden; es gibt aber doch Fälle, wo er poſitiv iſt, ja gepulvertes Antimon iſt ſogar gegen eine Antimonplatte poſitiv. Metalloxyde und Sulphuride ſind in der Regel gegen ihre Metalle negativ. Die Wärme ändert oft die Beſchaffenheit der Reibungselektricität. (Becquerel in *Ann. de Chim.* 47. 116; La Rive in Pogg. Ann. 37. 225 und 506.)

Kupferfeile iſt negativ gegen Platten von Zink, Blei, Zinn, Eiſen, Wismuth, Antimon; mit Platin, Gold und Silber wird ſie gar nicht

elektriſch; Zinkfeile aber iſt bei der Lufttemperatur poſitiv gegen Platin, Gold, Silber, Kupfer und Zinn.

185. Für ſchlechte Elektricitätsleiter läßt ſich nicht leicht eine Reihe finden, wie die vorher angeführte, weil die Beſchaffenheit der durch Reibung ſolcher Körper erregten Elektricität nicht bloß von der Natur, ſondern auch von der Beſchaffenheit der Oberfläche dieſer Körper mächtig abhängt. Der Diſthen nimmt ſogar +E oder —E an, je nachdem man die eine oder die andere ſeiner Flächen mit Seide reibt. Im Allgemeinen hat es den Anſchein, als wenn jener Körper die größte Neigung für —E hätte, deſſen Theile am meiſten aus ihrer natürlichen Lage gebracht werden. Wenigſtens erklärt es ſich daraus, warum von zwei Seidenbändern, die über Kreuz gerieben werden, das nach der Länge der Faſern bewegte poſitiv, das quer bewegte negativ elektriſch wird; warum die Wärme die Körper geneigt macht, negativ elektriſch zu werden; warum Seide ſchnell in der Luft bewegt, poſitiv und daher die Luft ſelbſt negativ elektriſch wird. Cavallo hat es verſucht, die Körper in Bezug auf die Beſchaffenheit der von ihnen erregten Reibungselektricität zu ordnen, und ſie in folgende Reihe, vom elektro-poſitivſten angefangen, zuſammengeſtellt: Katzenfell, polirtes Glas, Wollenzeug, Federn, Holz, Papier, Seide, Schellack, mattes Glas.

186. Der innere Grund der Elektricitätsentwicklung durch Reibung iſt völlig unbekannt. Die beim Reiben entwickelte Wärme ſcheint nicht zugleich die Quelle der Elektricität zu ſeyn, weil letztere nicht in dem Maße reichlicher entwickelt wird, in welchem ſich die Temperatur beim Reiben ſteigert. Der Umſtand, daß ſich beim Reiben ein eigenthümlicher Geruch verbreitet, und daß das Amalgam auf den Reibzeugen der Elektriſirmaſchinen ein ſehr leicht oxydirbarer Körper ſeyn muß, führt zwar auf die Vermuthung, die Reibung leite einen chemiſchen Proceß ein, und dieſer ſey die eigentliche Quelle der Elektricität. Allein es iſt nicht erwieſen, daß jener Geruch mit der Elektricitäts-Entwicklung in nothwendiger Verbindung ſtehe, ja Davy's Verſuche, bei welchen ſich ergab, daß eine kleine Elektriſirmaſchine in Waſſerſtoffgas, in kohlenſaurem Gas ꝛc. Elektricität entwickle, und in letzterem ſogar mehr als in atm. Luft, iſt dieſer Anſicht ſogar entgegen. Das Wahrſcheinlichſte iſt, daß die durch Reibung erzeugte Molecularbewegung die erſte Quelle der Elektricität ſey.

Ueber den Geruch, welcher ſich während des Spieles einer kräftigen Elektriſirmaſchine einſtellt und auch längere Zeit nachher anhält, hat neueſtens Schönbein Unterſuchungen bekannt gemacht. Nach ihm entſteht derſelbe Geruch auch bei der in größerem Maßſtabe, ſo wie es eine Grove'ſche Batterie geſtattet, vor ſich gehenden Elektrolyſirung des Waſſers, und zwar an der poſitiven Elektrode, wenn dieſe Platin oder Gold iſt. Schönbein ſieht das riechende Princip, welches ſich in verſchloſſenen Flaſchen beliebig lange aufbewahren läßt, als das Anion eines eigenen, in der Luft und im Waſſer befindlichen, bisher der Aufmerkſamkeit der Chemiker entgangenen Elektrolyten an. Als eine merkwürdige Eigenſchaft des riechenden Stoffes erſcheint die Fähig-

keit deſſelben, einen Streifen Platin und Gold von gewöhnlicher Temperatur, deſſen Oberfläche frei von Feuchtigkeit iſt, negativ zu polariſiren, d. h. dieſe Metalle für einige Zeit in einen ſolchen Zuſtand zu verſetzen, daß ſie in einen Schließungskreis, z. B. den eines Galvanometers gebracht, einen elektriſchen Strom erregen, zu dem ſie ſich als Kathode verhalten. Waſſerſtoffgas hebt dieſes elektromotoriſche Vermögen in wenigen Augenblicken auf. (Pogg. Ann. 50. 616.)

187. Ein anderes Erregungsmittel der Elektricität iſt die durch den Druck bewirkte Annäherung ihrer Theile. Schon vor vielen Jahren haben mehrere Phyſiker hierüber Verſuche angeſtellt und mehrere Körper gefunden, welche durch Druck merklich elektriſch werden. Insbeſondere fand dieſe Eigenſchaft Haüy in einem hohen Grade an kleinen Doppelſpathen. In dieſen kann man durch bloßen Druck zwiſchen den Fingern + E erregen. Eben ſo hat Libes bemerkt, daß eine iſolirte Metallſcheibe — E erhält, wenn man ſie an gefirnißten Taffet andrückt. Deſſaignes hat dieſe Verſuche noch mehr erweitert. Deßungeachtet wußte man noch nicht, ob die Fähigkeit, durch Druck elektriſch zu werden, allen oder nur einigen Körpern zukomme, bis durch Becquerel's Unterſuchungen die wichtige Wahrheit völlig ſicher geſtellt wurde, daß durch Druck jeder Körper in einen elektriſchen Zuſtand verſetzt werden kann Becquerel verfertigte aus dem zu unterſuchenden Körper ein Scheibchen, befeſtigte es mittelſt Siegellack an ein Glasſtäbchen, das zur Vermeidung der Elektriſirung durch etwaige Reibung mit einer hölzernen Handhabe verſehen war, überzeugte ſich zuerſt, daß hieran gar keine freie Elektricität hafte, und drückte nun das Scheibchen an ein zweites eben ſo befeſtigtes, iſolirtes oder an einen andern beliebigen Körper. Verſuche, die er auf dieſe Weiſe mit vielen Körpern, z. B. mit Korkholz, Hollundermark, Kautſchouk, Orangeſchalen, Stärkmehl, Doppelſpath. Gips, Flußſpath, Schwerſpath, mit mehreren Metallen und ſelbſt mit eingedickten Flüſſigkeiten angeſtellt hat, lehrten, daß die an einander gedrückten Körper, wenn ſie iſolirt ſind, entgegengeſetzte Elektricitäten zeigen; iſt aber nur einer davon iſolirt, ſo gibt zwar dieſer immer Spuren freier Elektricität, aber am andern ſind die der entgegengeſetzten nur dann merklich, wenn er ein ſchlechter Leiter iſt. Welcher von beiden poſitiv oder negativ elektriſch wird, ſcheint vom Verhältniſſe ihrer Elaſticität abzuhängen. Die Menge der Elektricität wird durch die Natur der zuſammengedrückten Körper, durch die Leitfähigkeit, Temperatur und Beſchaffenheit der Oberfläche der gedrückten Stoffe beſtimmt. Blätteriger Gips wird durch Druck viel ſtärker elektriſch als Kalkſpath. Körper, die ſich ſtark adhäriren, geben mehr Elektricität als ſolche, die dieſes nur in einem geringen Grade thun. Bei denſelben Körpern und einem mäßigen Drucke iſt die entwickelte Elektricitätsmenge dem Drucke nahe proportionirt, ſobald auch die Berührungsflächen in dieſem Verhältniſſe wachſen. Je geringer die Leitfähigkeit der zuſammengedrückten Körper iſt, deſto größer wird die Menge der frei gewordenen Elektricität bei übrigens gleichen Umſtänden. Drückt man einen guten und einen ſchlechten Leiter an derſelben Stelle mehrere Male hinter einan-

der mit veränderter Stärke zuſammen, ſo findet man bei der Trennung eine Elektricität von ſolcher Stärke, wie ſie dem ſtärkſten Drucke entſpricht. Bei guten Leitern vereinigen ſich die entgegengeſetzten Elektricitäten im Augenblicke, wo der Druck aufhört, und man kann nur durch eine ſehr ſchnelle Trennung der Körper einen Theil der frei gewordenen Elektricität retten; je geringer aber ihr Leitungsvermögen iſt, deſto weniger braucht man bei der Trennung eilig zu verfahren, um noch freie Elektricität wahrzunehmen. Uebrigens wird aber doch bei einerlei Leitungsvermögen und bei einerlei Druck die Menge der Elektricität mit der Schnelligkeit der Trennung im geraden Verhältniſſe ſtehen. Dieſes bemerkt man beſonders, wenn man eine Kork- und eine Orangenſcheibe zuſammendrückt, und ſie bald ſchneller, bald langſamer von einander trennt. Den Einfluß der Temperatur auf die Elektricitätserregung beweiſet der Umſtand, daß zwei Korkſcheiben, die man durch Entzweiſchneiden eines Stückes erhalten hat, in dem Falle, wo ſie durch einen Druck keine elektriſche Ladung annehmen, ſich mit Erfolg in die allgemeine Regel fügen, ſobald eines dieſer Stücke erwärmt wird. Dasſelbe zeigen zwei Doppelſpathe. Läßt man aber den Druck ſo lange anhalten, bis beide Körper wieder dieſelbe Temperatur angenommen haben, ſo wird man ſie ohne die geringſte Spur der Elektricität von einander trennen. Der Feuchtigkeitszuſtand modificirt die Menge der frei gewordenen Elektricität bedeutend; denn man findet, daß z. B. Schwerſpath, Gips, Glimmer u. ſ. w. immer dann nach dem Drucke merkliche Elektricität zeigen, wenn ſie früher abgetrocknet wurden. Die Beſchaffenheit der Oberfläche hat in ſo weit auf die hier zu erörternden Phänomene Einfluß, als ſie die Leitfähigkeit ändert. So wird z. B. der ſonſt ſchlecht leitende Doppelſpath ein guter Leiter der Elektricität, wenn man ihm ſeine Politur benimmt, und behält dann nur im iſolirten Zuſtande ſeine Elektricität. (Gilb. Ann. 73. 117; Pogg. Ann. 12. 174.)

188. An die Elektricitätserregung durch Druck ſchließt ſich unmittelbar die durch T r e n n u n g der Theile an. Ein Glimmerplättchen, das geſpalten wird, zeigt im Dunkeln ein lebhaftes Licht, Zucker und Kreide thun beim Zerſtoßen dasſelbe. Daß dieſes elektriſchen Urſprunges ſey, erkennt man daraus, daß, wenn man an einem Glimmerplättchen die Spaltung nur an einem Ende macht, hierauf die Blätter an iſolirte Handgriffe befeſtiget und mit dieſen die Trennung vollendet, dieſe Blätter ſich merklich elektriſch zeigen. So wie Glimmer verhalten ſich alle blätterigen und überhaupt alle vollkommen kryſtalliſirten Körper, wenn ſie rein geſpalten, nicht zerriſſen oder gebrochen werden; doch geſchieht dieſes nicht beim Spalten nach jedem, ſondern nur nach einem beſtimmten Blätterdurchgange. So z. B. erſcheinen Theilungsſtücke eines Topaſes nur dann elektriſch, wenn die Spaltung nach dem auf der Hauptaxe ſenkrechten Blätterdurchgange vorgenommen wurde. Das Elektriſiren durch Spalten iſt dem durch Drücken ſehr ähnlich. Denn wird z. B. ein Glimmerblatt geſpalten und dann jeder der zwei Theile durch Berühren mit der Hand ſeiner Elektricität

beraubt, dann aber wieder zuſammengedrückt; ſo findet man ſie wieder nach dem Auseinandernehmen eben ſo elektriſch, wie nach der urſprünglichen Trennung (Pogg. 12. 150). Nach Dumas zeigt Borſäure, die in einem Platintiegel geſchmolzen worden iſt, hierauf aber feſt wird und kleine Sprünge bekommt, an jedem Sprunge ein lebhaftes Licht, das man ſelbſt bei Tage bemerken kann. In einer Bewegung, wie ſie bei der Trennung der Körpertheile Statt hat, ſcheint auch das Elektriſchwerden vibrirender Platten ſeinen Grund zu haben. (*Compt. rend.* 6. 48. Pogg. Ann. 43. 187.)

189. Obgleich nach Pouillet's und Peltier's Verſuchen reines Waſſer durch den Act der Verdünſtung an ſich, ohne Abſcheidung von Stoffen, die im Waſſer aufgelöſt ſind, keine Elektricität erregt, ſo geben ſich doch, wenn Dampf aus der Sicherheitsklappe eines Dampfkeſſels ausſtrömt, ſehr ſtarke Aeußerungen von Elektricität kund, wie dieß neuerlich in der Nähe von Newcaſtle bemerkt wurde. Armſtrong erhielt aus dem Dampfſtrahle lebhafte Funken, mittelſt welchen eine Leidnerflaſche geladen werden konnte. Nach deſſen Verſuchen ſcheint die Elektricität erſt bei der Expanſion des eingeſchloſſenen Dampfes während des Austretens in die Luft frei zu werden. Die Beſchaffenheit des Waſſers hat darauf Einfluß, denn *ein* mit Regenwaſſer geſpeiſter Dampfkeſſel zeigte dieſe Erſcheinungen *nicht* (Pogg. Ann. 52. 328). Es bedarf daher noch einer ſorgfältigen Unterſuchung, in wiefern Verdichtung oder Verdünnung eines expanſiblen Körpers oder Formänderung eine Elektricitätsquelle ſeyn könne.

190. So wenig, als es nach dem gegenwärtigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe möglich iſt, den Urſprung der Elektricität bei der Reibung auf klare Begriffe zurückzuführen, läßt ſich in Betreff der andern ſo eben betrachteten Erregungsarten der Elektricität etwas Befriedigendes ſagen. Nicht glücklicher iſt man in der Nachweiſung des Grundes der bereits im Vorhergehenden ausführlich betrachteten Hervorrufung der Elektricität durch Aenderung der Temperatur; denn bisher hat es kaum ein Phyſiker gewagt, hierüber eine Vermuthung zu äußern. Deſto eifriger iſt man bemüht, die Quelle ausfindig zu machen, aus welcher die galvaniſche Elektricität ſtammt, ohne jedoch einer der darüber aufgeſtellten und auf das Lebhafteſte angegriffenen und vertheidigten Hypotheſen allgemeine Zuſtimmung erringen zu können. Volta und Jene, die ihm folgen, ſehen die Berührung der Metalle als die unmittelbare (nicht bloß veranlaſſende) Urſache des Elektriſchwerdens, mithin als eigentliche Elektricitätsquelle an; Andere, wie Fabroni, Parrot, Wollaſton, Faraday, La Rive ꝛc. leiten dieſe aus einer chemiſchen Wirkung her, welche Flüſſigkeiten auf Metalle ausüben. Beide Parteien führen Gründe für ſich an, und beiden werden Gegengründe gegenüber geſtellt, ohne daß der einen oder der andern hiedurch ein entſchiedenes Uebergewicht zu Theil würde, ſo daß hier nichts erübrigt, als die Anſichten beider aus einander zu ſetzen, und hierauf das folgen zu laſſen, was nach unſerer Anſicht der Wahrheit am nächſten zu ſtehen ſcheint.

191. Die Anhänger der Contacthypotheſe nehmen an, es werde durch Berührung der Metalle unter ſich eine elektromotoriſche Kraft geweckt, deren Wirkſamkeit darin beſteht, das elektriſche Princip in den ſich berührenden Körpern zu zerſetzen und einen beſtimmten Antheil + E in dem einen, einen entſprechenden Antheil — E in dem andern Metalle anzuhäufen und deren Wiedervereinigung über die Grenze der Berührungsſtelle zu verhindern. Die Spannungsreihe der Metalle und der feſten Leiter ſtellt die relative Größe dieſer Kraft zwiſchen zwei Stoffen der Reihe dar. Flüſſige Körper können theilweiſe zwar mit flüſſigen oder feſten auch eine ſolche Kraft wecken, aber dieſe iſt in vielen Fällen anderer Natur, als die vorher genannte, und darum geben viele flüſſige Stoffe unter ſich und mit feſten keine Spannungsreihe, aber die geſammte, in einem Elemente, d. i. in zwei Erregern und einem flüſſigen Leiter frei gewordene Elektricität begreift nicht bloß die durch Berührung der Metalle, ſondern auch durch Berührung eines Metalles mit der Flüſſigkeit erregte Elektricitätsmenge. Werden mehrere Paare von Elektromotoren mit einem flüſſigen Leiter zu einer Säule zuſammengeſtellt, ſo iſt jeder flüſſige Leiter ſowohl, als jeder Elektromotor zugleich ein Leiter der Elektricität; er nimmt davon aus der Umgebung ſo viel auf, als das Gleichgewicht fordert, und leitet es weiter, und das, was ein Körper auf ſolche Weiſe durch Mittheilung an die übrigen verloren hat, erſetzt die elektromotoriſche Kraft wieder. Daher kommt es, daß eine ſolche Säule eine der Anzahl ihrer Plattenpaare proportionirte elektriſche Spannung annimmt. Werden die Enden einer Säule durch einen metalliſchen oder flüſſigen Leiter mit einander verbunden, ſo entſteht ein Strom, deſſen Intenſität, eben weil er lediglich der Spannung an den Polen ſeinen Urſprung verdankt, dieſer Spannung nothwendig proportionirt iſt. Die Elektrolyſirung iſt Folge des Stromes, ohne irgend etwas zu demſelben beitragen zu können.

Man muß die Anſicht, welche gegenwärtig Volta's Namen führt, von jener unterſcheiden, die dieſer große Phyſiker ſelbſt ausſprach. Fortgeſetzte Erfahrungen mußten natürlicher Weiſe dieſelbe mehr ausbilden, auch theilweiſe berichtigen. Doch das Princip derſelben iſt unverändert geblieben. Volta theilte die Elektricitätsleiter in Elektromotoren und bloße Leiter. Erſtere, wozu er die Metalle zählte, ſtellte er in die Spannungsreihe; die letzteren, durchgehends flüſſige Körper, ſchloß er davon aus. Das Grundgeſetz der Spannungsreihe, daß nämlich die Spannung oder elektriſche Differenz zweier entfernteren Glieder der Summe der Spannungen der dazwiſchen liegenden Paare gleich komme, wird bezüglich der Metalle durch den Umſtand gerechtfertiget, daß eine in ſich zurückkehrende Reihe derſelben bei gleicher Temperatur keinen Strom enthalte. Neuere Erfahrungen nöthigen dieſes Geſetz auch auf Flüſſigkeiten, die gute Elektricitätsleiter, ja ſogar Elektrolyte ſind, z. B. Schwefelkaliumlöſung, verdünnte ſalpetrige Säure u. dgl. auszudehnen, weil ſich Zuſammenſtellungen derſelben mit Elektromotoren angeben laſſen, in welchen ſich gar kein Strom zeigt. Was die Spannungsreihe ſelbſt betrifft, ſo gibt ſie, an ſich genommen, gar keinen Anhaltspunct zur Beurtheilung der Wirkſamkeit einer Combination in der Volta'ſchen Kette; ſondern es iſt nöthig, auf die Flüſ-

ſigkeiten zu achten, welche als Leiter dienen; dieſe modificiren den Erfolg dergeſtalt, daß für jede Flüſſigkeit, womit eine Kette geladen werden ſoll, eine eigene Spannungsreihe aufgeſtellt werden muß. Allein damit geht der Vortheil, den Volta's ſchöner Gedanke bringen ſollte, gänzlich verloren.

Nachſtehende Betrachtung wird zeigen, wie man nach der Contacthypotheſe die gegen die Pole hin Statt findende Zunahme der Spannung in einer iſolirten Säule rechtfertigt.

Es ſey in einem Plattenpaare aus Zink und Kupfer die Elektricitätsmenge des Zinkes + a, die des Kupfers — a, und man bringe auf die Kupferplatte einen leitenden, feuchten Lappen L, den wir vor der Hand als nicht elektromotoriſch wirkend anſehen wollen. Dieſer nimmt von der Kupferplatte ſo viel Elektricität auf, daß er mit ihr eine gleiche Spannung erhält, dieſer Verluſt wird aber im Kupfer augenblicklich durch die fortwährend thätige elektromotoriſche Kraft wieder erſetzt und ſein Elektricitätszuſtand iſt wieder — a. Es haben daher die Theile der Säule ZKL in der Ordnung, wie ſie auf einander folgen, die Elektricitäten + a, — a, — a. Legt man auf L eine zweite Zinkplatte Z, ſo nimmt auch dieſe durch den feuchten Leiter an der Elektricität der erſten Kupferplatte Theil, und der Zuſtand der Säule ZKLZ iſt in ihren einzelnen Theilen folgender: + a, — a, — a, — a. Nun lege man auf Z ein zweites K. Als Leiter nimmt dieſes K die Elektricität — a an, als Erreger erhält es abermals — a, das Z bekommt + a, und dieſes + a wird allen rückwärts befindlichen Gliedern mitgetheilt, ſo daß demnach in der Säule folgende elektriſche Zuſtände Statt finden:

	Z	K	L	Z	K
Das erſte Element als Erreger, das zweite als Leiter	+ a,	— a,	— a,	— a,	— a.
Das zweite Element als Erreger, das erſte als Leiter	+ a,	+ a,	+ a,	+ a,	— a.
Beide Elemente als Leiter und Erreger	+ 2a,	0	0	0	— 2a.

Auf ähnliche Weiſe erhält man in einer Säule aus drei Elementen folgende Elektricitätszuſtände der einzelnen Theile:

	Z	K	L	Z	K	L	Z	K
Das erſte Element als Erreger, die übrigen als Leiter	+ a,	— a,	— a,	— a,	— a,	— a,	— a,	— a.
Das zweite als Erreger, die übrigen als Leiter	+ a,	+ a,	+ a,	+ a,	— a,	— a,	— a,	— a.
Das dritte als Erreger, die übrigen als Leiter	+ a,	+ a,	+ a,	+ a,	+ a,	+ a,	+ a,	— a.
Alle drei Elemente als Leiter und Erreger	+ 3a,	+ a,	+ a,	+ a,	— a,	— a,	— a,	— 3a.

Es nimmt demnach die Spannung ſowohl der Zink- als der Kupferplatten von ihrem Pole an nach der entgegengeſetzten Seite ab, wie die Glieder einer arithmetiſchen Reihe, gerade wie es die Erfahrung zeigt. Die Differenz zwiſchen der letzten Zink- und Kupferplatte iſt hier = 6 a. Steht aber die Kupferplatte mit der Erde leitend in Verbindung, ſo iſt ihre Spannung = 0; und daher, wenn dieſelbe elektriſche Differenz zwiſchen den äußerſten Platten Statt finden ſoll, jene der äußerſten Zinkplatte = 6 a, doppelt ſo groß als vorhin. Hier iſt aber auf die elektromotoriſche Kraft des flüſſigen Leiters keine Rückſicht genommen worden. Kommt auch dieſe in Rechnung, ſo wird dadurch die Elektricität der Säule größer oder kleiner, je nachdem die elektromotoriſche Kraft der Flüſſigkeit jener der feſten Erreger unterſtützt oder ihr entgegen wirkt.

192. Die Hypotheſe des chemiſchen Urſprunges der Elektricität ſpricht ſich, wenigſtens im Sinne ihres beharrlichſten Vertheidigers,

La Rive, folgendermaßen aus: Wird ein Metall in ein gasförmiges oder tropfbares Mittel gebracht, welches es anzugreifen vermag, ſo wird, ſobald die chemiſche Thätigkeit beginnt, ſeine natürliche Elektricität zerſetzt, und es vereinigt ſich ein Beſtandtheil deſſelben mit dem Metalle, der entgegengeſetzte mit der Flüſſigkeit. Beſteht die chemiſche Wirkung in einer bloßen Verbindung der Atome der Flüſſigkeit mit jenen des Metalles, ſo wird letzteres poſitiv, erſtere negativ elektriſch; beſteht aber der chemiſche Proceß zugleich in einer Verbindung und Trennung der Atome, ſo hängt es davon ab, welche von beiden mehr Elektricität liefert, denn immer iſt die bei der Trennung der Atome eintretende Elektriſirung jener bei der Verbindung derſelben Statt findenden entgegengeſetzt, und daher das Reſultat beider Proceſſe von der Differenz ihrer Wirkungen abhängig. Die Intenſität der bei einem derlei Proceſſe frei werdenden Elektricität richtet ſich nach der Natur der ſich trennenden oder verbindenden Atome und nach den Hinderniſſen, die der Wiedervereinigung beider frei gewordenen Elektricitäten im Wege ſtehen. Befinden ſich zwei ſich berührende Metalle in einem auf beide, jedoch mit ungleicher Stärke chemiſch wirkenden Mittel, ſo werden auch beide elektriſch, und zwar iſt immer das mehr angegriffene poſitiv, das andere negativ. Werden mehrere ſolche Paare mittelſt eines flüſſigen Leiters zu einer Volta'ſchen Säule zuſammengeſtellt, ſo dienen für jedes Paar alle übrigen als Leiter, die gleichzeitig in demſelben Körper vorkommenden entgegengeſetzten Elektricitäten neutraliſiren ſich, und ſo kommt es, daß ſich die poſitive Elektricität nach einer, die negative nach der andern Seite zu anhäuft.

Der weſentliche Unterſchied zwiſchen dieſen beiden Anſichten beſteht demnach in Folgendem: Nach der Berührungshypotheſe wird Elektricität durch eine den Metallen inwohnende, in denſelben durch Berührung erregte, von allen bekannten Kräften verſchiedene Kraft hervorgerufen, ohne materielle Veränderung dieſer Metalle; beide ſpielen dabei eine active Rolle, der feuchte Leiter verhält ſich theils paſſiv, indem er die Elektricität der feſten Erreger leitet, theils activ, wenn er ſelbſt elektromotoriſch wirkt. Nach der chemiſchen Hypotheſe wird nur die Elektricität, welche in dem feuchten Leiter gebunden war, frei, weil die chemiſche Vereinigung ſeiner Beſtandtheile aufhört. Die Metalle, entweder beide oder nur eines derſelben, wirken nur durch ihre Verwandtſchaft zu den Beſtandtheilen des flüſſigen Leiters; es iſt eine Berührung von zweien vortheilhaft, damit ein Gegenſatz chemiſcher Wirkungen Statt finde, und die Elektricität, welche die weitere Zerſetzung des Leiters und die Oxydation eines Metalles hindert, in das andere abgeſtoßen werden könne; die Flüſſigkeit wirkt daher durch die chemiſche Verwandtſchaft ihrer Beſtandtheile und durch ihre Zerſetzbarkeit. Während nach der Berührungshypotheſe die Körper in zwei Claſſen zerfallen, nämlich in ſolche, welche als Elektromotoren und Leiter, und in ſolche, welche bloß als Leiter wirken; ſo ſind ſie nach der chemiſchen Hypotheſe entweder Leiter, ohne Elektrolyte zu ſeyn, oder Leiter und Elektrolyte zugleich. Nach der Berührungshypotheſe wird die Vereinigung der durch Berührung von einander getrennten Elektricitäten von der elektromotoriſchen Kraft verhindert, nach der chemiſchen Hypotheſe ſtehen der Vereinigung der zwei entwickelten Elektricitäten nur gewöhnliche Leitungswiderſtände entgegen, und die chemiſche Wirkung

erſetzt fortwährend, ſo lange ſie fortdauert, das, was durch Neutraliſirung der beiden Elektricitäten verloren gegangen iſt.

193. Um der einen oder der andern dieſer beiden Anſichten den Sieg zuzuwenden, hat man von der einen Seite behauptet, daß durch den bloßen Contact gar keine Elektricität entſtehe, ſondern dabei ſtets ein chemiſcher Proceß im Spiele ſey, ja man iſt ſogar ſo weit gegangen, die Oxydationsfähigkeit der edlen Metalle zu Hilfe zu rufen; von der andern Seite hat man die Elektricitätserregung durch chemiſchen Proceß in Zweifel geſtellt. Es dürfte ſchwer werden, derlei Behauptungen auf eine gründliche Weiſe zu unterſtützen, denn der Fundamentalverſuch Volta's iſt ein zu wohl begründetes Factum, um an ſeiner Richtigkeit zweifeln zu wollen, und er wurde vielfach, und unter Umſtänden angeſtellt, wo an einen eigentlichen chemiſchen Vorgang nicht zu denken iſt (Pfaff's Verſuche mit einem Zinkkupferelemente in verſchiedenen trockenen Gaſen), und eben ſo wenig läßt ſich die Möglichkeit in Abrede ſtellen, daß durch chemiſche Vorgänge Elektricität erregt werde, wenn man in Erwägung zieht, daß die Elektricität ſowohl Verbindungen, als Trennungen der Stoffe bewirke. Doch muß man ſich hüten, den Verſuchen, durch welche man den chemiſchen Urſprung der Elektricität auf das Beſte zu rechtfertigen glaubt, z. B. der Becquerel'ſchen Kette ein zu großes Gewicht beizulegen, da, wenn man den Metallcontact der Galvanometerdrähte mit den betreffenden Flüſſigkeiten ausſchließt, die Wirkungen gewaltig herabſinken (Fechner in Pogg. Ann. 48. 1). Eben ſo wenig läßt ſich die feſte elektrolytiſche Action zu Gunſten der chemiſchen Hypotheſe geltend machen; denn es iſt dieſelbe eine allgemeine Eigenſchaft der elektriſchen Ströme, und kommt daher auch den aus andern Quellen ſtammenden, z. B. den magneto-elektriſchen Strömen zu. Daß es übrigens ſehr ſchwer iſt, den wahren Antheil des Chemismus an der Elektricitätserregung in das gehörige Licht zu ſtellen, hat ſeinen Grund darin, daß es gar keine chemiſche Wirkung ohne Contact gibt, und daß der Effect ſelbſt von ſo vielerlei Umſtänden abhängt, als: Concentrationsgrad, Temperatur der Flüſſigkeiten u. ſ. w. Mit welcher Behutſamkeit man bei der Beurtheilung der auf dieſen Gegenſtand ſich beziehenden Argumente zu Werke gehen müſſe, kann man am beſten aus den durch Gründlichkeit ſich auszeichnenden Abhandlungen deutſcher Phyſiker lernen.

194. Ein bei der Erörterung der Theorie der galvaniſchen Action wohl zu berückſichtigender Umſtand iſt, daß der dadurch hervorgerufene Strom Effecte hervorbringt, die auf ihn ſelbſt zurückwirken und ſeine Stärke und Richtung abändern. Es wirkt ein elektriſcher Strom unmittelbar auf die erregende Kraft ein, und macht den Körper, in welchen der Strom von der Flüſſigkeit eintritt, gegen jenen, von welchem er in die Flüſſigkeit gelangt, poſitiv-elektriſch. Dieſes zeigt folgender Verſuch: Man nehme zwei ganz homogene Silberplatten, tauche jede derſelben in ein Glas mit Waſſer, verbinde ſie mit einander außerhalb der Gläſer leitend, und bringe in eines der Gläſer, dem Silber zur Seite, einen Zinkſtreifen, in das andere einen Kupferſtreifen und ver-

binde dieſe letzteren ſelbſt mit einander zu einem Zinkkupferelemente. Nimmt man nach einigen Minuten die Silberplatten aus der Flüſſigkeit, verbindet ſie mit einander zu einer einfachen Kette, ſo erſcheint die Platte, welche ſich neben dem Kupfer befand, und in welche die Elektricität vom Waſſer einſtrömte, poſitiv, die andere negativ. Dieſe Aenderung erleidet ein Körper um ſo leichter, je öfter man ihn einem elektriſchen Strome bereits ausgeſetzt hat; ſie erſtreckt ſich aber nur auf den in die Flüſſigkeit getauchten Theil deſſelben. Daraus folgt nun, daß in einem in einer Flüſſigkeit befindlichen Plattenpaare der Strom immer ſchwächer werden, und endlich gar in entgegengeſetzter Richtung auftreten müſſe. Dieſes fand Marianini bei einem Elemente aus Graphit und Platin in einem Gemiſche von 100 Th. Waſſer und 1 Th. Schwefelſäure. Da erſchien zuerſt das Platin negativ, der Graphit poſitiv; nach öfterem Eintauchen verſchwand der Strom ganz, und trat endlich in entgegengeſetzter Richtung auf. Die Zeit, innerhalb welcher dieſe Veränderung vor ſich geht, hängt vom feuchten Leiter ab und iſt deſto kürzer, je beſſer dieſer leitet. Waſſer bewirkt nie eine vollkommene Umkehrung des Stromes; Platten, die nicht oxydirbar ſind, wie z. B. von Gold und Platin, kehren, wenn ſie einige Zeit der Luft ausgeſetzt ſind, wieder in ihre urſprüngliche elektriſche Reihe zurück. Aus dieſem Verhalten folgt, daß die Kraft eines Elektromotors bloß durch die Wirkung des einige Zeit lang Statt findenden elektriſchen Stromes eine Aenderung erleide. Marianini hat dieſes durch eigene Verſuche mit Volta'ſchen Säulen näher erörtert und ſich überzeugt, daß der Verluſt, den ein ſolcher Apparat erleidet, gleich nach dem Schließen der Kette am ſchnellſten erfolge, in der Folge immer langſamer vor ſich gehe und endlich eine beſtimmte, unüberſchreitbare Grenze erreiche. Dieſe Abnahme erfolgt (nach Fechner) deſto ſchneller, je kürzer der die Kette ſchließende feſte oder flüſſige Leiter, je größer die Zahl der Plattenpaare und je kleiner die erregende Oberfläche jedes Paares iſt; ſchneller, wenn die Fläche des poſitiven Körpers die des negativen übertrifft als umgekehrt. Uebrigens hängt ſie auch von der Natur der Platten und der flüſſigen Leiter ab, und befolgt ſelbſt bei ganz gleich conſtruirten Ketten, deren anfängliche Stärke dieſelbe iſt, einen verſchiedenen Gang. Eine einfache Kette mit großen, weit von einander abſtehenden Platten aus Zink und Zinn, mit ſtark ſaurem Waſſer, oder noch beſſer mit Kupfervitriollöſung, durch einen langen Polardraht geſchloſſen, wird ihre Kraft nur ſehr langſam verlieren (Marianini in Zeitſchr. 3. 365. 9. 241. Fechner in Schweigg. J. 63; 249). Der Grund dieſes Phänomens ſcheint darin zu liegen, daß durch den elektriſchen Strom die Oberfläche der Metalle verändert und ſo die Action, welche die Elektricitätentwicklung bedingt, modificirt wird. Säulen mit amalgamirten Zinkplatten ſind darum auch wirkſamer und dauernder, weil die Zinkfläche immer rein bleibt, indem das gebildete Oxyd ſchnell durch die freie Säure entfernt wird.

195. Faſſen wir die Streitfrage unparteiiſch auf, ſo ſcheint uns keine der genannten zwei Hypotheſen ausſchließend zu genügen, ſon-

dern ein Mittelweg zwiſchen beiden der Wahrheit am nächſten zu kommen. Die Phyſiker halten nämlich ſchon längſt die Kräfte, welche der Adhäſion, und jene, welche der chemiſchen Verwandtſchaft zum Grunde liegen, nicht für weſentlich verſchieden; ja einige haben es ſogar verſucht, die Verwandtſchaftsgrade nach der Größe der Adhäſion zu beſtimmen (Scholz's Phyſik. 4. Aufl. 1. 152). Es iſt dem Geiſte der Wiſſenſchaft nach ihrem gegenwärtigen Stande nicht unangemeſſen, die chemiſche Anziehung als eine verſtärkte Adhäſionskraft anzuſehen. Prechtl (Pogg. Ann. 15. 223) hat in der That die innige Verbindung zwiſchen der Adhärenz der Metalle und ihrer elektriſchen Differenz, d. h. ihrer relativen Stelle in der Spannungsreihe nachgewieſen; Becquerel hat gezeigt, daß auch durch Capillaritätswirkung, die bekanntlich ganz auf der Adhäſion und Cohärenz beruht, Elektricität erregt werde. Ferner iſt aus Girard's Verſuchen, ſo wie aus der Theorie der Haarröhrchen (Pogg. Ann. 5. 41) bekannt, daß die Adhäſion eine Aenderung der Dichte der flüſſigen an feſte grenzenden Körperſchichten bewirke. Auf dieſe Thatſachen geſtützt, denken wir uns die Elektricitätserregung bei einem Volta'ſchen Elemente als den Erfolg der Molecularveränderung, welche ſich berührende Körper, zwiſchen denen eine Adhäſion Statt findet, durch die Adhäſionskraft erleiden. Die Veränderung bezieht ſich oft nur auf die Dichte der ſich berührenden Körper, und zwar oft ſogar nur auf die der Berührungsſtelle nächſten Schichten; bei intenſiver Kraft und günſtigen Umſtänden aber auch auf die chemiſche Natur der Körper. Dieſe Anſicht bedarf nicht der Annahme einer neuen Kraft, wie jene der Contacthypotheſe, und macht doch das Erſcheinen von Elektricität ohne chemiſche Wirkung erklärbar, ſie hat mit der chemiſchen Hypotheſe gemein, daß ſie wie dieſe die Erſcheinungen einer einfachen Kette aus den Molecularkräften ableitet, daß der flüſſige Körper durch dieſe Kraft und nicht bloß als Leiter wirkſam gedacht wird, und daß die Beſtandtheile der Kette durch ihre phyſiſche Veränderung die Quelle der Elektricität werden, die Berührung aber dieſe Veränderung möglich mache, mithin nur veranlaſſende, nicht die eigentlich wirkende Urſache des Elektriſchwerdens ſey. Sie ſteht nach ihrem Sinne der chemiſchen Hypotheſe näher als der Contacthypotheſe, welche eine Elektricitätentwicklung ohne weitere Veränderung der Körper annimmt, ja die chemiſche Anſicht iſt ein beſonderer Fall von dieſer. Das gleichzeitige Auftreten chemiſcher Wirkungen mit Elektricitätentwicklungen, und daß die chemiſche Kraft einer einfachen Kette in dem Maße ab- und zunimmt, wie die chemiſche Wirkung zu dem flüſſigen Leiter und den Beſtandtheilen der Kette kleiner oder größer wird, ſteht mit dieſer Anſicht im beſten Einklange. Es geht aus derſelben hervor, daß die elektriſche und die Molecularkraft eines und dasſelbe ſind, und daß letztere jedesmal als Elektricität erſcheint, wenn ſie aus einer Wirkungsweiſe in eine andere übergeht, wie z. B., wenn ſie aufhört, die Beſtandtheile des Waſſers zuſammen zu halten und dafür das Zink oxydirt. Schönbein's neueſtens aufgeſtellte Hypotheſe der chemiſchen Tendenzen iſt von dieſer Anſicht nicht weſentlich verſchieden. (Pogg. Ann. 43. 89 u. 229.)

Außer den bereits genannten ſind noch folgende Abhandlungen als Hilfsmittel zur weiteren Verfolgung des Ganges der Streitfrage über die Contact- und die chemiſche Hypotheſe zu empfehlen: Davy in Phil. Transact. 1807 u. 1826. Reviſion der Lehre vom Galvano-Voltaismus von Pfaff. Altona 1837. Derſelbe in Pogg. Ann. 49. 461; 51. 111 u. 197; 53. 303; Ueber Contact-Elektricität von Karſten, Berlin 1836. La Rive in Pogg. Ann. 15. 98; 37. 225; 40. 355. u. 515; 46. 489. Faraday ebend. 35. 1; 52. 149 und 547; 53. 316, 479 u. 548. Fechner ebend. 41. 225; 42. 481; 44. 37. Lenz ebend. 47. 584; 48. 1 u. 225; Poggendorff ebend. 49. 31; 53. 436.

196. Es iſt kein Zweifel, daß in einem lebenden Körper durch den Lebensproceß beſtändig Elektricität erregt werde, und große Phyſiologen haben die Elektricität als beſtändigen Begleiter der Lebensthätigkeit angeſehen. Die Haare von Katzen, Pferden ꝛc., ja ſelbſt von jungen Perſonen ſind oft ohne äußere Veranlaſſung ſo ſtark elektriſch, daß ſie ſträubend in die Höhe ſteigen; Pflanzen ſah man zur Zeit des intenſivſten Lebens Funken geben, ja Pouillet hat ſogar die durch die Vegetation entwickelte Elektricität durch mehrere directe Verſuche beſtimmt. Einige Fiſche, wie z. B. der Zitteraal (gymnotus electricus), der Zitterrochen (raja torpedo), der Zitterwels (silurus electricus), der Stachelbauch (tetrodon electr.), der Spitzſchwanz (trichiurus electr.) können gleich einer geladenen Leidnerflaſche Schläge ertheilen, wozu ſie ein eigenes, einer Volta'ſchen Säule ähnliches Organ beſitzen. J. Davy hat die Identität der Elektricität des Zitteraals mit der Reibungs- und Berührungselektricität factiſch nachgewieſen, indem er mittelſt derſelben Stahlnadeln magnetiſirte, die Magnetnadeln ablenkte und chemiſche Wirkungen hervorbrachte. In der neueſten Zeit hat man dieſe Unterſuchungen mit Erfolg fortgeſetzt, und Linari hat ſogar durch Anwendung langer ſpiralförmiger oder ſelbſt kurzer aber zuſammengewundener Drähte Funken zu gewinnen gewußt, und mittelſt eines empfindlichen Condenſators Zeichen einer elektriſchen Spannung erhalten. Faraday hat alle dieſe Wirkungen beſtätiget gefunden, und überdieß noch durch dieſe Elektricität Drähte erhitzt. Der Strom, den ein Zitteraal liefert, geht ſeinen Erfahrungen zu Folge, immer vom Vordertheil des Thieres zum Hintertheil. (Davy in *London and Edinb. Journ. I.*; Humboldt in Pogg. Ann. 37. 239; Colladon ebend. 39. 411; Mateucci ebend. 39. 485; Faraday in Pogg. Ergänzbd. 1. 385. Beobachtungen über die elektriſchen Wirkungen des Zitteraals von Schönbein. Baſel 1841.)

197. Es ſind nun alle Elektricitätsquellen unterſucht, und die Geſetze, nach denen ſie ſich wirkſam zeigen, näher erörtert worden. Schon ein oberflächlicher Ueberblick zeigt, daß Reibung, Berührung, Induction, Wärme und der Lebensprozeß die Hauptquellen ſeyen, daß man es daher im Allgemeinen mit der Reibungs- oder gemeinen, mit der Volta'ſchen-, der thieriſchen, der Magneto- und der Thermo-Elektricität zu thun habe. Alle dieſe befolgen aber dieſelben Geſetze, zum Beweiſe, daß alle von derſelben inneren Natur ſeyen. Insbeſondere hat man von allen dieſen phyſiologiſche Wirkungen, Ablen-

kung der Magnetnadel, Magnetiſirung, Funken, Temperaturerhöhung und wahre elektro-chemiſche Wirkungen erfahren. Anziehung und Abſtoßung ſind zwar bei der ſpeciell ſogenannten, an guten Leitern ſich zeigenden Thermo-Elektricität noch nicht angetroffen worden, allein dazu gehört eine elektriſche Spannung, die bei einem ſo ungehinderten Strome, wie ihn ungleichförmig erwärmte Metalle liefern, nicht wohl vorkommen kann, und ſomit darf dieſe kleine Lücke keinen Grund abgeben, die Thermo-Elektricität von der durch die übrigen Quellen gelieferten zu ſondern, und ſie als beſonderes Agens zu betrachten. Dabei iſt aber die Exiſtenz verſchiedener elektriſchen Ströme, analog den verſchieden transmiſſionsfähigen Wärme- und den verſchiedenfarbigen Lichtſtrahlen (vergl. die folgenden Abſchnitte) nichts weniger als unwahrſcheinlich. Ueber das Weſen eines elektriſchen Stromes ſelbſt kann man nicht mehr mit Sicherheit behaupten, als daß er von einer Bewegung begleitet ſey, wobei das Bewegliche die Lage des Gleichgewichtes nur wenig verläßt, und überhaupt als das Reſultat der Molecularkräfte der Körper betrachtet werden könne. Die Annahme eines elektriſchen Fluidums eigener Natur iſt nur ein Mittel, den Verlauf der elektriſchen Erſcheinungen unſerem Vorſtellungsvermögen etwas näher zu bringen, und dürfte wohl außer dieſem keinen objectiven Grund für ſich haben. Die Phänomene des elektriſchen Stromes überhaupt, ſeines Durchganges durch verſchiedene Körper, und der nicht mehr zweifelhafte Widerſtand, den er beim Uebergange von einem Mittel in ein anderes erfährt, ſind der Annahme, daß der Elektricität Schwingungen eines eigenen Stoffes oder der kleinſten Körpertheile zum Grunde liegen, gar nicht ungünſtig; eine Annahme, die ganz gewiß auch noch das für ſich hat, daß ſie die vier großen Mächte der phyſiſchen Welt, Licht, Wärme, Magnetismus und Elektricität, auf eine gemeinſchaftliche Quelle zurückführt.

Intereſſant wäre es, die zu den verſchiedenen Wirkungen elektriſcher Ströme nöthigen relativen Intenſitäts- und Quantitätsgrößen zu kennen, allein zu dieſem Ende iſt bis jetzt nur ſehr wenig geſchehen. Pouillet fand, daß die Intenſität des Stromes einer Volta'ſchen Säule von 12 Plattenpaaren aus Zink und Kupfer 113924mal ſo groß iſt, als die eines Wismuthkupferelementes, das durch eine Temperaturdifferenz von 1° angeregt wird, und durch einen 21 Meter langen Bogen 1 Millim. dicken Kupferdrahtes geht. Nach Poggendorff hielt der Strom einer magnetiſchen Rotationsmaſchine bei acht Umläufen des Ankers in der Secunde drei Zinkkupferplatten einer Volta'ſchen Säule das Gleichgewicht. Nach Faraday braucht man zur Zerſetzung von 1 Gran Waſſer ſo viel Elektricität, daß man damit einen Platindraht von $^1/_{100}$ Z. Dicke in der Luft durch $3^3/_4$ M. roth glühend erhalten, oder daß man mit derſelben eine Batterie laden könnte, die 800,000mal größer iſt, als eine ſolche, die man durch 30 Umdrehungen einer ſehr kräftigen Scheibenmaſchine zu entwickeln vermag, und die demnach das größte Thier zu tödten im Stande wäre.

Ueber dieſen Abſchnitt ſiehe nebſt den ſchon angeführten Werken: Franklin's Briefe von der Elektricität. Leipzig 1758. Verſuche über die Elektricität von Adams. Wien 1786. L. Mahon's Grundſätze der Elektricität. Leipzig 1789. Dondorf's Lehre von der Elektricität.

Erfurt 1784. Practiſche Elektricitätslehre von Langenbucher. Augsburg 1788. Elemente der Elektricität und Elektrochemie von Singer. Breslau 1819. Grundzüge der reinen Elektricitätslehre von Leſchan. Wien 826. A. Galvani's Abhandlung über die Kraft der thieriſchen Elektricität. Prag 1793. Volta's Schriften über die thieriſche Elektricität Prag 1793 und 1796. Volta's neueſte Verſuche über den Galvanismus. Wien 1803. A. Humboldt, über die gereizte Muskel- und Nervenfaſer. Berlin 1797—99. Der Prozeß der galvaniſchen Kette von G F Pohl. Leipzig 1826. Die galvaniſche Kette, mathematiſch bearbeitet von Ohm. Berlin 1827. *Saggio di esperienze electro-metriche del D. St. Marianini. Venezia* 1822. Maßbeſtimmungen über die galvaniſche Kette von G. Th. Fechner. Leipzig 1831. *Memorie ed osservationi dal cav. L. Nobili. Firenze.* 1834. *Traité expérimental de l'électricité et du magnétisme etc. par M. Becquerel. Paris* 1834 — 1840. *Experimental Researches in Electricity. By M. Faraday, London* 1839. (Eine beſondere Ausgabe der Abhandlungen dieſes großen Phyſikers über die Elektricitätslehre. Sie finden ſich vollſtändig in Pogg. Ann. Bd. 25, 29, 31, 32, 33, 35, 36, 46, 47, 48, 52, 53 und Ergänzungsband 1.) Endlich bieten noch die Repertorien von Fechner, von Dove und das neue Gehler'ſche Wörterbuch in den Artikeln Elektricität, Galvanismus, Leiter, Magnetoelektricität, Thermoelektricität u. a. vielfache Belehrung.

Dritter Abſchnitt.

Licht.

Erſtes Kapitel.

Erſcheinungen des Lichtes überhaupt.

198. Wenn die Sonne unter dem Horizonte ſteht, Wolken die Geſtirne verbergen und auch kein künſtliches Licht vorhanden iſt; ſo ſind wir von der Sinnenwelt, mit der wir nicht unmittelbar durch Berührung in Verbindung ſtehen, völlig abgeſchnitten. Das *Licht*, ſo nennen wir den objectiven Grund des Sehens, iſt es alſo, durch welches wir Vorſtellungen von entfernten Gegenſtänden bekommen und das uns den größten Theil der Schöpfung kennen lehrt. Doch dient es nicht bloß dazu, uns die Gegenſtände ſichtbar zu machen, ſondern es vermag auch chemiſche Veränderungen hervorzurufen, greift in das organiſche Leben mächtig ein, und ſpielt daher auch in anderer Beziehung in dem Haushalte der Natur eine wichtige Rolle.

199. Die Quelle des Lichtes ſind die *ſelbſtleuchtenden Körper*. Dieſe ſind nämlich an ſich ſichtbar, und bedürfen nicht, wie die *dunklen*, zu ihrer Sichtbarkeit der Gegenwart eines andern, der ihnen Licht zuſendet. Selbſtleuchtende Körper ſind: die Sonne, die Fixſterne, vielleicht auch die Kometen, ferner die brennenden und phosphorescirenden Körper. Es iſt bekannt, daß dunkle Körper ſelbſtleuchtend werden können, daß Holz und manche andere Pflanzenſtoffe erſt leuchten, wenn ſie faulen, eben ſo daß manche Körper durch Erwärmen, Stoßen, Reiben, Schlagen ꝛc. Licht geben, und daß einige (die ſogenannten Lichtſauger) erſt leuchten, wenn ſie einige Zeit lang dem Sonnenlichte ausgeſetzt waren.

Faules Holz, todte Seefiſche, die Johanneswürmchen, die Johanneskäfer, der Surinamiſche Laternenträger ꝛc. phosphoresciren von ſelbſt; der Bologneſer Leuchtſtein (zerſtoßener und durch Tragant zu Paſten geformter, gebrannter Schwerſpath), verſchiedene Kalkſalze, beſonders Schwefelkalk, auch Schwefelſtrontian, Schwefelbaryt, Flußſpath, arſenikſaures Kali mit ſalpeterſaurem Baryt geglüht, leuchten nach kurzer Beſtrahlung durch Sonnenlicht, beſonders wenn ſie erwärmt werden; Diamanten leuchten beim Reiben mit Wolle, zwei Kieſe geben beim Zuſammenſchlagen Funken und beim Reiben einen Lichtſchein ꝛc. (*Heinrich* über die Phosphorescenz. Nürnberg, 1811 — 1820;

Schweigg. J. 14. 135; Kaſt. Arch. 5. 88. Zeitſchr. 2. 80; Pogg. Ann. 33. 405; Gehlers n. Wörterb., Artikel: Licht.)

200. Einige Körper ſind vom Lichte durchdringlich, und ſolche hindern daher die Sichtbarkeit eines Gegenſtandes nicht, wenn ſie ſich zwiſchen demſelben und dem Auge befinden. Man nennt ſie durchſichtig, wie z. B. Luft, Glas, Waſſer. Andere laſſen das Licht nicht hindurch und halten daher das von einem Objecte zum Auge gehende auf; ſie werden undurchſichtig genannt. Kein Körper läßt alles auf ihn fallende Licht durch, und keiner iſt daher abſolut durchſichtig, und ſelbſt der durchſichtigſte wird in dicken Schichten undurchſichtig, gleichwie der undurchſichtigſte in dünnen Schichten wenigſtens durchſcheinend iſt.

201. Ein undurchſichtiger Körper hindert die Sichtbarkeit eines anderen nur dann, wenn er ſich in den geraden Linien befindet, welche vom Auge zu den Puncten des zu ſehenden Gegenſtandes gehen. Daher erfolgt die Wirkung des Lichtes längs geraden Linien und jede ſolche Linie heißt ein Lichtſtrahl. Ein leuchtender Punct ſendet Lichtſtrahlen nach allen Seiten aus, und ein dunkler, demſelben gegenüberſtehender Körper empfängt daher, wenn kein undurchſichtiger im Wege ſteht, einen Lichtkegel oder eine Lichtpyramide, deren Spitze im leuchtenden Puncte liegt, und deren Seitenfläche jenen Körper ringsum berührt.

202. Denkt man ſich in einem verfinſterten Zimmer eine äußerſt kleine Oeffnung an einem Fenſterladen, die als Punct betrachtet werden kann, und nimmt man an, daß directes Sonnenlicht durch ſie eindringe; ſo hat der von der Sonne kommende Lichtkegel ſeine Spitze an dieſer Oeffnung, und von da an bildet ſich im Zimmer ein zweiter umgekehrter Kegel. Wird dieſer mit einer weißen Tafel aufgefangen, deren Ebene auf der Axe des Kegels ſenkrecht ſteht, ſo ſtellt ſich der Durchſchnitt beider als ein leuchtender Kreis dar, der gleichſam als ein Bild der Sonne betrachtet werden kann, das ſo vielmal linear verkleinert erſcheint, als ſeine Entfernung von der Oeffnung in der Diſtanz der Sonne von derſelben enthalten iſt. Hat aber die Oeffnung am Fenſterladen eine merkliche Ausdehnung, und iſt ſie z. B. kreisrund, ſo dringen unendlich viele ſolche Lichtkegel ein, und geben zuſammen ein Sonnenbild, deſſen Halbmeſſer um den der Oeffnung größer iſt, als im vorigen Falle. Es iſt offenbar in dem mittleren Theile ſtärker erleuchtet als am Rande, wo die Helligkeit raſch abnimmt. Stellt nämlich z. B. ST (Fig. 263) den Durchmeſſer der Sonne vor, HK den Durchmeſſer einer kreisrunden Oeffnung, MN eine weiße Tafel, auf welche das Sonnenlicht fällt; ſo darf man nur die geraden Linien SHA, SKB, THC, THD ziehen, um einzuſehen, daß in den Raum zwiſchen B und C von allen Puncten, dagegen in die Randtheile AB, CD von um ſo wenigeren Puncten der Sonne Licht falle, je näher die betrachtete Stelle an A oder D liegt. Will man wiſſen, welches Stück der Sonne die Beleuchtung irgend eines Punctes, z. B. x in AD bewirkt, ſo darf man nur xHy, xKz ziehen; das Stück

der Sonne, welches innerhalb des Kegels y x z erſcheint, iſt das wirkende. Eine ſehr kleine, von der Sonne beleuchtete Oeffnung in dem Fenſterladen eines verfinſterten Zimmers vertritt bei Verſuchen oft die Stelle eines leuchtenden Punctes; eine ſchmale Spalte daſelbſt die Stelle einer leuchtenden Linie.

203. Befinden ſich außerhalb des verfinſterten Zimmers, der Oeffnung im Fenſterladen gegenüber, hell beleuchtete Gegenſtände, ſo zeigt ſich auf der Wand im Zimmer oder auf einem der Oeffnung entgegengeſtellten weißen Schirme eine verkehrte Abbildung dieſer Gegenſtände mit ihren natürlichen Farben. Man nennt dieß den Verſuch der dunklen Kammer (Camera obscura). Die Abbildung gewinnt an Schärfe, verliert aber an Helligkeit, wenn man die Oeffnung verkleinert, oder die Entfernung des Schirmes von der Oeffnung vergrößert, ſo daß nur einer gewiſſen Anordnung beider der beſte Effect entſpricht. Jeder Punct der beleuchteten Gegenſtände ſendet hier einen Strahlenkegel, dem die Eigenſchaft inwohnt, in dem Auge den Eindruck einer beſtimmten Farbe hervorzurufen, durch die Oeffnung; der Durchſchnitt dieſes Kegels mit der Fläche des Schirmes gibt das Bild jenes Punctes. Je mehr Licht auf einen beſtimmten Theil des Schirmes fällt, deſto heller iſt das Bild; je weniger ſich die Bilder der einzelnen Puncte decken, deſto ſchärfer erſcheint die Abbildung. Da dieſe bei ſchicklich gewählter Größe der Oeffnung und Diſtanz des Schirmes ſchon ſehr befriedigend ausfällt, ohne daß jeder Punct im Gegenſtande durch einen Punct im Bilde wieder gegeben wird, ſo iſt für unſer Auge eine gewiſſe Annäherung an die geometriſche Schärfe ſchon hinreichend. Die Folge wird Mittel darbieten, die Schärfe des Bildes in der Camera obſcura ohne Verluſt an Helligkeit zur größten Vollkommenheit zu bringen.

204. Dunkle Stellen in einem beleuchteten Raume, von welchem das Licht durch einen undurchſichtigen Körper abgehalten wird, heißt man Schatten, gänzliche Abweſenheit des Lichtes nennt man Finſterniß, wiewohl man einen Raum oft ſchon für finſter hält, wenn es ihm an der zum klaren Sehen nöthigen Erleuchtung fehlt. Hat der leuchtende Körper eine merkliche Ausdehnung, wie z. B. die Sonne, der Mond ꝛc.; ſo gibt es hinter einem undurchſichtigen Körper, der von jenem beleuchtet wird, außer dem Raume, in welchen gar kein Strahl unmittelbar gelangen kann, und den man Kernſchatten nennt, auch noch einen ſolchen, der nur von einigen Puncten des leuchtenden Körpers unmittelbar Licht empfängt. Dieſen nennt man Halbſchatten. Im Allgemeinen erhalten nur jene Punkte des Halbſchattens, welche gegen den leuchtenden und gegen den beleuchteten Körper einerlei Lage haben, Licht von gleicher Intenſität, und dieſes nimmt an jedem Querſchnitte des Halbſchattens gegen den Kernſchatten hin durch alle Zwiſchenſtufen ab. Beide Schatten gehen alſo ſtetig in einander über, ſo daß man ihre Grenze nie genau angeben kann. Iſt z. B. AB (Fig. 264) eine leuchtende, CD eine beleuchtete Linie, ſo iſt CED der Kernſchatten, ECx und EDy ſind Halbſchatten.

Da der Schatten durch die Strahlen begrenzt wird, welche am äußerſten Rande des beleuchteten Körpers vorbeifahren; ſo muß ſeine Geſtalt, Lage und Größe von der Geſtalt und Größe des leuchtenden und beleuchteten Körpers und von ihrer gegenſeitigen Entfernung abhängen, übrigens für jeden gegebenen Fall mathematiſch beſtimmt werden können. Man erſieht hieraus zugleich, daß man von der Größe des Schattens auf die des beleuchtenden Körpers, ja ſogar von der Bewegung des einen auf die Bewegung des andern einen Schluß machen, und daher den Schatten zur Beſtimmung der Dimenſionen oder Bewegung eines Gegenſtandes benützen könne. (Silhouettiren, chineſiſches Schattenſpiel. Beſtimmung der Höhe eines Baumes, Thurmes ꝛc. mittelſt ſeiner Schattenlänge.) Der Schatten erſcheint durch Contraſt deſto dunkler, je ſtärker der ihn umgrenzende Raum erleuchtet iſt; daher verurſacht das ſtärkſte Licht den dunkelſten Schatten. Daß uns Nachts bei einem ſparſamen Kerzenlichte die Schatten dunkler erſcheinen, als bei Tage, wo das unendlichemal ſtärkere Sonnenlicht ſcheint, das kommt davon her, daß eigentlich am Tage faſt kein Kernſchatten vorhanden iſt, indem der Schatten eines Körpers in den beleuchteten Raum eines anderen fällt.

205. Die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes findet nur ſo lange Statt, als es ſich in demſelben Mittel befindet; ändert es aber das Mittel, ſo erleidet es beim Uebergange im Allgemeinen eine Aenderung der Richtung und der Intenſität. Es kehrt nämlich ein Theil eines an die Grenze zweier heterogenen Mittel gelangenden Lichtſtrahles in das alte Mittel zurück und wird reflectirt, der andere dringt in das neue Mittel ein. Geht der auffallende Strahl ſchief gegen die Grenze der Mittel, ſo nimmt der reflectirte einen anderen Weg; auch der in das neue Mittel eindringende ändert ſeine Richtung, d. h. er wird gebrochen. Von der Reflexion des Lichtes überzeugt man ſich am augenſcheinlichſten, wenn man einen Kegel Sonnenſtrahlen in ein dunkles Zimmer fallen läßt, und dieſen mit einer Glasplatte oder einem gewöhnlichen Spiegel auffängt. Um die Brechung auf eine recht auffallende Weiſe wahrzunehmen, bedient man ſich eines parallelepipediſchen Kaſtens, wovon eine Seitenwand undurchſichtig, die übrigen durchſichtig ſind. Läßt man auf die undurchſichtige Wand AB, Fig. 265 nach der Richtung SC Sonnenlicht fallen und beobachtet die Länge des Schattens BC auf dem Boden, gießt ſodann Waſſer in das Gefäß, und wiederholt die Beobachtung, ſo zeigt ſich der Schatten BD bedeutend verkürzt; es hat alſo der Strahl SA im Waſſer den Weg AD genommen.

Das reflectirte Licht iſt es, durch welches dunkle Körper gleich den ſelbſtleuchtenden ſichtbar werden; nur mittelſt deſſelben nimmt man das vorerwähnte Bild auf dem Schirme in der dunklen Kammer wahr; die in der Luft ſchwebenden Stäubchen zeigen, indem ſie Licht nach allen Seiten reflectiren, den Weg, den ein in ein dunkles Zimmer eindringender Sonnenſtrahl nimmt. Einen Lichtſtrahl ſelbſt kann man nicht ſehen, man ſieht nur mittelſt deſſelben.

206. Durch die Reflexion und Brechung des Lichtes können Strahlen, die von einem leuchtenden Puncte herkommen, in neue Richtungen, jedoch ſo gebracht werden, daß dieſe ſich entweder vorwärts

oder rückwärts verlängert genau oder wenigſtens ſehr nahe in einem Puncte durchſchneiden. Dem Auge erſcheint daſelbſt das **Bild** des leuchtenden Punctes, weil es denſelben Eindruck erfährt, als gingen die Strahlen urſprünglich von letzterem Puncte aus. Empfängt das Auge die ſich in einem Puncte durchkreuzenden reflectirten oder gebrochenen Strahlen nach der Durchkreuzung, ſo ſieht es ein **reelles** oder ein **Luftbild**; ſcheinen nur die Strahlen von einem Puncte herzukommen, indem ſich ihre Richtungen rückwärts genommen in einem Puncte begegnen, ſo findet bloß ein **imaginäres** Bild Statt. Auf gleiche Weiſe können Bilder von leuchtenden Gegenſtänden entſtehen, denn jedes ſolche iſt nur der Inbegriff der Bilder aller einzelnen Puncte. Dieſe Bilder haben deſto mehr **Klarheit** (Helligkeit), je mehrere Strahlen zur Entſtehung des Bildes jedes einzelnen Punctes beitragen und ins Auge gelangen, und deſto mehr **Deutlichkeit**, in einem je engeren Raume ſich die von einem Puncte des Objectes ausgehenden Strahlen wieder vereinigen. Treffen ſie genau in einem Puncte zuſammen, ſo hat das Bild von dieſer Seite die größte Deutlichkeit.

207. Das Licht, welches an der Grenze zweier Mittel gleichſam umkehrt und ins alte Mittel zurückgeht, iſt entweder **zerſtreutes** oder **regelmäßig reflectirtes** Licht. Durch erſteres wird uns der Körper, an deſſen Grenze die Zerſtreuung erfolgt, ſelbſt ſichtbar, als wäre er ein leuchtender, durch das letztere ſehen wir ein Bild desjenigen, der das Licht auf jenen Körper ſendet. Eine Reflexion tritt, beſondere erſt in der Folge anzugebende Fälle abgerechnet, jedesmal ein, wenn ein Lichtſtrahl an die Grenze zweier optiſch ungleichartigen Mittel gelangt; ob aber eine regelmäßige Reflexion oder eine Zerſtreuung des Lichtes Statt findet, das hängt bloß von der Rauheit und Glätte der vom Lichte getroffenen Fläche ab. Dieſes ſieht man daraus, daß jeder Körper, der im rauhen und unpolirten Zuſtande bloß ſelbſt ſichtbar iſt, alſogleich ſtatt ſeiner das Bild desjenigen gibt, von dem das Licht auf ihn fällt, wenn ſeine Oberfläche polirt wurde. Körper, die durch reflectirtes Licht die Bilder der Gegenſtände zeigen, von denen ſie beleuchtet werden, heißen **Spiegel**. Sie müſſen offenbar die auffallenden Strahlen in derſelben Ordnung reflectiren, in welcher ſie auffielen; denn ſonſt könnte keine Empfindung in unſerem Auge entſtehen, als käme das Licht gerade vom leuchtenden Gegenſtande her.

Ein vollkommener Spiegel kann nur das Bild der ihn beleuchtenden Gegenſtände, aber nicht ſein eigenes zeigen; allein es gibt in der Natur keinen ſolchen Spiegel. Schon die kleinſten Rauheiten der ſpiegelnden Fläche benehmen ihr einen Theil ihres Spiegelglanzes. Wird auf einen Metallſpiegel eine Figur gezeichnet, hierauf die Zeichnung weggeſchliffen und die Spiegelfläche wieder ſo weit hergeſtellt, daß man bei gewöhnlicher Beleuchtung keine Spur der Zeichnung bemerkt, ſo erſcheint dieſelbe doch auf einer Wand, wohin man ſtarkes, vom Spiegel reflectirtes Licht gelangen läßt (Pogg. Ann. 27. 485.) Am beſten ſpiegeln: Ruhig ſtehende Flüſſigkeiten, weiße wohl polirte Metallplatten (aus Platin oder aus einer Miſchung von Kupfer, Silber und

Zinn) minder gut, aber doch zu manchen Zwecken hinreichend, wohl polirte, auf einer Seite geſchwärzte Glasplatten oder gar Platten aus ſchwarzem Glaſe, die nur auf einer Seite polirt ſind. Dieſen ſtehen unſere gewöhnlichen Spiegel aus Glas, wovon eine Seite mit Zinnamalgam überzogen iſt, weit nach, weil ſie mehrere Bilder machen, die ſich zum Theil decken; meiſtens erkennt man deren zwei (am beſten von einer brennenden Kerze), wovon eines an der vorderen, das andere an der hinteren Glasfläche gebildet wird. In manchem Spiegel bemerkt man vier bis fünf und mehr ſolche Bilder.

208. Unterſucht man das im Inneren eines durchſichtigen Körpers, z. B. Waſſer, Glas ꝛc. fortſchreitende gebrochene Sonnenlicht genau (vergl. den in 205 angegebenen Verſuch), ſo findet man daß ſich das Licht bei der Brechung in einen Bündel farbiger Strahlen theilt. Am beſten nimmt man dieſe Erſcheinung an einem Körper wahr, der das Licht bei der Brechung ſehr bedeutend von ſeiner Richtung ablenkt. Dazu eignet ſich ganz vorzüglich ein dreiſeitiges Prisma aus reinem Glaſe mit eben geſchliffenen wohl polirten Flächen. Läßt man zu dieſem Ende durch eine Oeffnung am Fenſterladen in ein dunkles Zimmer einen Sonnenſtrahl S x Fig. 266 fallen, und ſtellt dieſem ein ſolches Prisma A B C, deſſen Kante B z. B. horizontal liege und abwärts gekehrt ſey, in den Weg, ſo wird das Licht von ſeinem Wege nach oben hin abgelenkt, es geht der die Fläche A B in D treffende Lichtſtrahl nach E und er tritt bei F nach der Richtung F y durch die Fläche B C aus dem Prisma in die Luft, aber ſtatt des vorhin auf einem ſenkrecht gegen den Strahl gehaltenen Schirme wahrnehmbaren kreisrunden Sonnenbildes erſcheint jetzt ein längliches oben und unten abgerundetes, ſeitwärts von parallelen geraden Linien begrenztes Bild, Farbenbild, Spectrum, deſſen Breite dem Durchmeſſer des vom ungebrochenen Licht erzeugten Sonnenbildes gleichkommt, deſſen Länge aber von dem Winkel des Strahles mit der Fläche des Prisma's, durch welche er eintritt, von dem Winkel der Ein- und Austrittsfläche am Prisma ſelbſt, dem brechenden Winkel (der, wenn die Erſcheinung ſich recht ſchön zeigen ſoll, bei Glas nicht unter 45° betragen mag) und von der brechenden Subſtanz des Prisma's abhängt. In dieſem Bilde zeigt ſich, wenn man es ſeiner Länge nach betrachtet, in jedem Querſchnitte eine andere Farbenabſtufung, welche ſich in die daran grenzenden Farben allmälig verläuft. Der unterſte Theil des Spectrums iſt dunkelroth, von da an aufwärts findet man es heller roth, und allmälig durch eine Orangefarbe ins Gelbe übergehend. Dieſes wird nach oben zu immer mehr grünlich, endlich ganz grün. Die grüne Farbe nimmt weiter oben eine Beimiſchung von Blau an, und zieht ſich gänzlich ins Lichtblaue hinüber, welches immer tiefer blau werdend, durch das Indigoblau ins dunkelſte Violett ſich verliert, womit das Farbenbild ſich endigt. Iſt der brechende Winkel des Prisma's aufwärts gekehrt, ſo iſt die Ordnung der Farben im Spectrum, das durch einen von unten nach oben hin zum Prisma geleiteten Sonnenſtrahl erzeugt wird, die umgekehrte. Die Intenſität des Lichtes iſt an verſchiedenen Stellen des Farbenbildes ſehr verſchieden, und im gel-

ben Theile größer, als im grünen und rothen, und in dieſem wieder größer als im blauen und violetten. Nach obiger Beſchreibung ſind daher in dem Spectrum ſechs Hauptfarben bemerkbar, nämlich die rothe, orange, gelbe, grüne, blaue und violette. Newton jedoch, dem wir die Unterſuchung dieſer Erſcheinung vorzüglich verdanken, fand ſich bewogen, um zwiſchen den Farben im Sonnenbilde und den ſieben Tönen einer Octave eine Aehnlichkeit herauszubringen, ſieben verſchiedene Farben im Spectrum anzunehmen, und zwar die rothe, orange, gelbe, grüne, blaue, indigoblaue und violette.

209. Aus dieſer Erſcheinung folgt unmittelbar: 1) Daß das ſo eben beſprochene Spectrum durch Licht von verſchiedener Brechbarkeit gebildet werde, indem offenbar die Strahlen bei r, dem rothen Anfang des Spectrums, viel weniger gebrochen werden als die bei v, dem violetten Ende. 2) Daß die Strahlen, deren Brechbarkeit verſchieden iſt, in uns die Empfindung verſchiedener Farben erregen. Um dieſe Folgerung ganz ſicher zu ſtellen, ließ Newton das Farbenbild, welches durch ein horizontal gehaltenes Prisma gebildet wurde, neuerdings auf ein vertical ſtehendes fallen. Waren die aufgeſtellten Sätze richtig, ſo mußte das neue Sonnenbild daſſelbe Farbenſpiel zeigen wie das erſte, und wenn dieſes vertical ſtand, wie rv in Fig. 267, und in r das rothe und in v das violette Ende hatte, ſo mußte jenes ſchief ſtehen wie r′v′, und in r′ roth, in v′ violett erſcheinen. Die Erfahrung entſprach dieſer Vorausſetzung auf das Genaueſte, und beſtätigte daher die Wahrheit obiger Sätze unwiderſprechlich. Läßt man das Farbenbild auf eine Tafel A (Fig. 268) auffallen, die eine kleine Oeffnung hat, ſo wird der auf die Oeffnung fallende Theil des Farbenbildes durchgehen. Fängt man einen ſolchen Strahl mit einem zweiten Prisma B auf, ſo wird er wohl gebrochen und zwar deſto mehr, je weiter er im Farbenbilde vom rothen Strahle abſteht und ſich dem violetten nähert, er erſcheint aber mit derſelben Farbe, wie vor der zweiten Brechung. Man kann dieſes als einen ferneren Beweis für die vorhin angeführte Folgerung anſehen, und zugleich daraus die neue Wahrheit ableiten, daß ein Lichtſtrahl des Spectrums, welcher die Eigenſchaft hat, die Empfindung einer beſtimmten Farbe zu erregen, dieſe Eigenſchaft durch Brechung nicht verliere.

Im Lichte, das gefärbte Körper reflectiren, zeigt ſich derſelbe Zuſammenhang zwiſchen Erregung einer beſtimmten Farbenempfindung und dem Grade der Brechbarkeit, wie beim directen Sonnenlichte. Man überzeugt ſich davon ſehr leicht, wenn man auf eine weiße Tafel zwiſchen zwei parallelen Linien neben einander zwei Rechtecke malt, wovon z. B. eines roth, das andere grün iſt. Sieht man ſie mit einem dreiſeitigen Prisma an, deſſen brechender Winkel aufwärts gekehrt iſt, ſo erſcheint das grüne höher als das rothe, zum Beweiſe, daß die von jenem ausfahrenden Strahlen mehr als die von dieſem kommenden gebrochen werden.

210. Obwohl das Phänomen des Spectrums die zuſammengeſetzte Natur des Sonnenlichtes hinreichend beweiſet, ſo wird man doch

noch mehr befriediget, wenn man durch Vereinigung der farbigen Strahlen, welche das Spectrum darbietet, farbloſes Licht entſtehen ſieht. Dieß bewirkt man, indem man das Prisma in eine raſche oſcillirende Bewegung verſetzt und dadurch das Spectrum auf dem Schirme ſchnell hin- und hergehen macht; da zeigt ſich ein weißer Lichtſtreif, der nur oben und unten etwas farbig erſcheint. Hier empfängt das Auge von jedem Puncte des Schirmes ſchnell hinter einander Eindrücke von allen Farben des Spectrums, und da ein Eindruck den andern überdauert, ſo empfindet es dasſelbe, als wenn unzerlegtes Sonnenlicht auf den Schirm fiele. Man kann aber auch die farbigen Strahlen durch ein Sammelglas zur Vereinigung bringen, und erhält denſelben Erfolg.

211. Die Anzahl der verſchieden brechbaren Strahlen, aus denen der unzerlegte Sonnenſtrahl beſteht, iſt nicht angebbar; man kann ſie als unendlich groß betrachten. Enthielte das Sonnenlicht nur eine geringe Anzahl ſolcher Strahlen, ſo könnte das Farbenbild nicht mit parallelen Seitenwänden erſcheinen, es würden ſich die runden Bilder, die jeder einfache Strahl gibt, wohl zum Theile decken, müßten aber immer ein Farbenbild geben, an deſſen Seiten man die kreisförmig gebogenen Einſchnitte bemerken könnte, wie in Fig. 269. Diejenigen, welche behaupten, ein unzerlegter Sonnenſtrahl beſtehe aus ſieben Strahlen von verſchiedener Brechbarkeit, können darunter nur ſolche verſtehen, die in uns die Empfindung weſentlich verſchiedener Farben erregen. Allein ſelbſt jene Strahlen, die im Allgemeinen nur eine Farbenempfindung erzeugen, beſtehen aus verſchieden brechbaren Theilen, weil immer ein Theil der Eintrittsfläche des Lichtes am Prisma von größerer Breite von dem zu zerlegenden Lichte getroffen wird, mithin jeder der Kante des brechenden Winkels parallele unendlich ſchmale Streifen der Eintrittsfläche ſein eigenes Spectrum liefert, und alle dieſe Spectra ſich theilweiſe decken.

212. Um ſich den Anblick eines Farbenbildes zu verſchaffen, bei welchem dieſe Mengung ungleichartigen Lichtes nicht Statt hat, laſſe man das durch eine enge Spalte geleitete Licht auf ein gutes Prisma, deſſen brechende Kante der Spalte parallel iſt, in ſolcher Entfernung fallen, daß man die Spalte als eine leuchtende Linie betrachten darf, die ſehr wenig divergirende Strahlen auf das Prisma ſendet. Nach der Brechung durch das Prisma haben Strahlen von gleicher Brechbarkeit ſolche Richtungen, als würden ſie von einer und derſelben leuchtenden Linie direct ausgeſendet; Strahlen von verſchiedener Art aber ſcheinen von verſchiedenen einander parallelen Linien auszugehen. Nimmt man nun dieſe Strahlen mit dem Auge auf, und gibt man dem Prisma durch Drehung um ſeine Axe eine ſolche Stellung, daß die Linien, von welchen die Strahlen herzukommen ſcheinen, in die Sehweite des Auges fallen, ſo muß man offenbar eben ſo viele Bilder der Spalte ſehen, als Lichtſorten von verſchiedener Brechbarkeit vorhanden ſind. Gibt es deren im Sonnenlichte eine unendliche Anzahl von allen innerhalb gewiſſer Grenzen liegenden Graden der Brechbarkeit, ſo wird man auch eine ſtetige Folge von Lichtlinien (Spaltenbil-

dern) wahrnehmen, welche zuſammen ein Farbenbild darſtellen, worin aber jeder mit der Richtung der Spalte parallelen Linie gleichartiges Licht entſpricht. Enthält dagegen das Sonnenlicht innerhalb der Grenzen ſeines Farbenbildes nicht Strahlen von jedem Grade der Brechbarkeit, ſondern fehlen Strahlen von gewiſſen Farbenabſtufungen im Farbenbilde, ſo muß ſich an jeder Stelle, welche fehlenden Strahlen correſpondirt, eine Lücke zeigen, die, je nachdem nur einzelne getrennte Strahlengattungen, oder ganze Reihen von unmittelbar an einander grenzenden Strahlen mangeln, als eine dunkle Linie oder als ein dunkler Streifen von meßbarer Breite wahrgenommen wird. Dieß iſt, wie Fraunhofer auf dem ſo eben angedeuteten Wege entdeckt hat, bei dem Sonnenlichte wirklich der Fall. Man erblickt in dem Spectrum, zumal wenn man dem Auge durch ein gutes Fernrohr zu Hülfe kommt, unzählige ſtarke und ſchwache Linien, die dunkler ſind, als der übrige Theil des Farbenbildes, einige davon ſind ſogar völlig ſchwarz. Dieſe Linien ſind immer und zwar in derſelben Ordnung vorhanden, aus was immer für einer Materie das Prisma beſteht, und was es für einen brechenden Winkel hat, nur nimmt ihre Stärke und ihre erkennbare Menge im Verhältniſſe mit der durch den brechenden Winkel des Prisma's und die Vergrößerung, welche das Fernrohr geſtattet, bedingten Größe des Farbenbildes ab und zu. Mit bloßem Auge ſind nur die vorzüglichſten derſelben deutlich zu erkennen.

Um den Fraunhofer'ſchen Verſuch zu machen, ſtellt man in einem verfinſterten Zimmer ein Prisma mit vollkommen ebenen Wänden vertical vor das Objectivglas (d. i. vor jenes, welches man gegen das Object kehrt) eines guten Fernrohres, und läßt durch eine ſchmale aber hohe Oeffnung Sonnenlicht auf dasſelbe fallen, bei einer ſolchen Anordnung des Fernrohres, daß man ohne Prisma die Oeffnung deutlich ſieht, und einer ſolchen Stellung des Prisma's, daß die Strahlen es unter demſelben Winkel verlaſſen, unter dem ſie auffallen. Dieſe Stellung findet man leicht dadurch, daß ſie zugleich diejenige iſt, in der die größte Ablenkung des Lichtes durch das Prisma Statt hat. Bei der Betrachtung des Farbenbildes mit bloßem Auge muß aber das Prisma eine andere Stellung, nämlich diejenige erhalten, in welcher das Bild in die Schweite des Auges fällt, die man durch Drehen des Prismas leicht ausmittelt.

Um ſich in dem Farbenbilde des Sonnenlichtes, vorzüglich für Zwecke der practiſchen Optik, mit Leichtigkeit orientiren zu können, hat Fraunhofer die an den merkwürdigſten Stellen befindlichen Linien vom rothen gegen das violette Ende hin mit den Buchſtaben A, B, C ꝛc. bis I bezeichnet. A (Fig 270) iſt eine ſcharf begrenzte Linie nahe am Anfange des Spectrums im dunklen Roth B und C ſind ſcharfe ſchwarze Linien von merklicher Dicke im lichtern Roth. Zwiſchen A und B befindet ſich ein Bündel a feiner Linien, die gleichſam einen Streifen bilden. D iſt eine Doppellinie an der Uebergangsſtelle von Orange in Gelb, E iſt eine Gruppe feiner Linien im Grün, F eine ſtarke Linie im Blau. Zwiſchen E und F, nahe bei E, erblickt man drei ſehr ſtarke Linien b, die zu den ausgezeichnetſten im Farbenbilde gehören. G iſt eine Gruppe feiner Linien im tief Indigblau. Bei H im Violett ſteht ein merkwürdiger aus vielen feinen Linien und einer ſtarken Mittellinie gebildeter Streifen, und nahe dabei ein zweiter ähnlicher. Fraun-

hofer zählte von B bis H ungefähr 574 Linien. Brewſter dagegen hat das Sonnenſpectrum in mehr als 2000 deutlich wahrnehmbare Theile getheilt, worin ſich dunkle Linien befinden. (Pogg. Ann. 38. 58.)

213. Es iſt klar, daß man durch die Mittel, durch welche das Sonnenlicht zerlegt wird, auch das Licht anderer leuchtenden Körper analyſiren kann. Faſt alle geben ein Spectrum mit mehreren Farben, doch gibt es einige, die unmittelbar homogenes Licht ausſenden. Läßt man das Licht eines brennenden Körpers, welches durch ein Prisma analyſirt keine dunklen Linien im Farbenbilde zeigt, durch ein paſſendes farbiges Mittel gehen, bevor es auf das Prisma gelangt, ſo erſcheinen dunkle Linien im Spectrum, und es ändert ſich mit der Natur jenes Körpers und des farbigen Mittels die Anzahl, Lage und Beſchaffenheit der dunklen Linien, oft bleiben ganze Farbenpartien aus.

Das Licht einer Flamme von ſehr ſtark verdünntem Weingeiſte iſt nach Brewſter ganz homogen gelb, und in allen Farbenbildern, die unvollkommen verbrennende Körper liefern, hat das gelbe Licht die Oberhand. Phosphor gibt mit Salpeter verbrannt ein Farbenbild, worin keine Farbe vorherrſcht und keine durch dunkle Linien unterbrochen iſt. Dieſem ähnlich ſind die Farbenbilder, welche glühender Kalk, Platin mehrere andere feſte Körper geben. Schwefel gibt beim lebhaften Verbrennen faſt lauter homogenes gelbes Licht; ſobald aber die Heftigkeit des Verbrennens nachläßt, erſcheinen im Farbenbilde blaue und grüne Streifen. Wird er mit Salpeter gemiſcht und angezündet, ſo gibt er ein Farbenbild, mit einer merkwürdigen rothen Linie, die außer der rothen Grenze des Spectrums liegt, und davon durch einen dunklen Zwiſchenraum getrennt iſt. Ihr Licht iſt weniger brechbar, als der am wenigſten brechbare Theil des Sonnenlichtes. Sie ſcheint vom Kali herzurühren und allen Kaliſalzen zuzukommen, gleichwie die Natronſalze einen gelben Streifen, gleich dem Lichte im Spectrum des Schwefels erzeugen. Brennendes Cyan gibt ein aus mehreren, beinahe gleich breiten, intenſiven, durch dunkle Linien von einander getrennten Streifen beſtehendes Spectrum; ſalpeterſaurer Strontian zeigt ein Spectrum mit mehreren Unterbrechungen der Continuität und einer hellglänzenden, dunkelblauen, iſolirten Linie. Im Farbenbilde vom gewöhnlichen Flammenlichte, das durch eine enge Spalte ging, zeigt ſich zwiſchen Roth und Gelb ein lichter Streifen, der augenſcheinlich von einem Ueberſchuſſe homogenen gelben Lichtes herrührt, das von der Flamme ausgeſendet wird, wodurch ein hervorſtechendes gelbes Spaltenbild entſteht; ein ähnlicher nur minder ſcharf begrenzter Streifen wird im Grün wahrgenommen. Im Lichte des Sirius zeigen ſich drei breite Streifen, wovon einer im Grün, zwei im Blau ſind. Caſtor gibt ein Farbenbild wie Sirius, Pollux gibt viele ſchwache, fixe Linien, noch mehrere Beteigeuze, Procyon aber ſehr wenig. Das Licht des Mars und der Venus hat viele Aehnlichkeit mit dem Sonnenlichte. Der elektriſche Funke zeigt ein Farbenbild aus vielen hellen Linien, und Wheatſtone überzeugte ſich, daß dieſe Linien verſchieden ſind, je nach der Natur des Metalles, aus welchem der Funke gezogen wurde; das Medium hat keinen Einfluß darauf, und das elektriſche Licht iſt von jenem des verbrennenden Metalles weſentlich verſchieden. (Pogg. Ann. 36. 148.)

214. Die Wirkung des Lichtes beruht auf einer von den leuchtenden Körpern ausgehenden Bewegung. Römer entdeckte um das

Jahr 1675 zu Paris durch aſtronomiſche Beobachtungen, daß die Fortpflanzung des Sonnenlichtes nicht augenblicklich erfolge, ſondern daß es in 1 Sec. ungefähr 42,000 Meilen zurücklege. Man weiß nämlich, daß der Planet Jupiter 4 kleine, unſerm Monde ähnliche Begleiter (Trabanten) habe, von denen der ihm nächſte in etwa 42 Stunden einen Umlauf macht, und jedesmal in den Schatten des Planeten tritt, mithin verfinſtert wird. Das Zeitintervall, welches vom Anfange einer ſolchen Verfinſterung bis zum Anfange der nächſten verfließt, und eben ſo jenes, welches die Enden zweier unmittelbar auf einander folgenden Verfinſterungen trennt, nimmt fortwährend ab, wenn ſich die Erde in ihrer jährlichen Bewegung dem Jupiter nähert, und wächſt hingegen, wenn ſich die Erde vom Jupiter entfernt. Dieſe Abweichung der Bewegung des Trabanten von der Regelmäßigkeit des Umlaufes um den Jupiter iſt nur ſcheinbar, und läßt ſich aus der Annahme vollkommen genügend erklären, daß das auf den Trabanten fallende Sonnenlicht in dem Verhältniſſe weniger oder mehr Zeit brauche, um von dieſem zur Erde zu gelangen, als die Erde ihm näher oder von ihm entfernter ſteht. Die Summe der Beſchleunigungen der Finſterniſſe während die Erde von dem größten Abſtande vom Jupiter bis zum kleinſten fortſchreitet, entſpricht einem Zeitintervall von mehr als 16 Minuten, d. h. um dieſen Zeitbetrag würde man die letzte Verfinſterung ſpäter wahrgenommen haben, wenn die Erde ſtets in der größten Entfernung vom Jupiter geblieben wäre; dieſer Zeit bedarf alſo das Licht, um den Durchmeſſer der Erdbahn zu durchlaufen, woraus die oben angegebene Geſchwindigkeit deſſelben folgt. (*Roemeri Basis Astronomiae. Havniae* 1735. *p.* 121. Littrow's Wunder des Himmels. Stuttgart 1837. S. 112.)

215. Die ſucceſſive Fortpflanzung des Lichtes beweiſet, daß demſelben ein materielles Princip zum Grunde liege. Die große Geſchwindigkeit des Lichtes läßt vermuthen, daß das Licht nicht in einem von den leuchtenden Körpern aus ſich fortbewegenden Stoffe beſtehe, ſondern vielmehr auf der durch Vermittlung eines elaſtiſchen Mediums bewirkten Fortpflanzung eines Bewegungszuſtandes der leuchtenden Körper beruhe. Dieſe Anſicht hat man ſchon längſt gehabt; Huyghen's ſprach dieſelbe zuerſt in einer genügenden Form aus, und Euler verfocht dieſe Meinung in ſeinen berühmten Abhandlungen; allein einerſeits waren damals die Thatſachen, auf welche ſich die ſchlagendſten Beweiſe für die Nothwendigkeit dieſer Erklärungsweiſe der Erſcheinungen des Lichtes ſtützen, nicht bekannt, oder doch nicht auf die gehörige Weiſe unterſucht; andererſeits aber war die Theorie der ſchwingenden Bewegung noch zu wenig ausgebildet, um als eine haltbare Baſis für die Erklärungen dienen zu können. Erſt in unſeren Tagen haben die Bemühungen eines Young, Fresnel, Fraunhofer, Herſchel, Cauchy, Neumann, Airy, Hamilton u. a. dieſe Lücken ausgefüllt, und es iſt dadurch eine phyſikaliſche Theorie des Lichtes, die ſogenannte Undulationstheorie, zu Stande gekommen, welche jetzt den anderen Partien der Naturlehre als Muſter der

Evidenz dienen kann. Dieſer erfreuliche Zuſtand der Wiſſenſchaft geſtattet nun ſogleich die genannte Theorie unſeren ferneren Betrachtungen an die Spitze zu ſtellen, und aus ihr die ſämmtlichen bis jetzt bekannten Erſcheinungen des Lichtes in ſyſtematiſchem Zuſammenhange abzuleiten.

216. Die Undulationstheorie poſtulirt die Exiſtenz eines eigenen, den Weltraum und das Innere der Körper erfüllenden Stoffes, welcher durch das Wort Aether bezeichnet wird, und die materielle Grundlage der Erſcheinungen des Lichtes ausmacht. Die Theilchen deſſelben wirken auf einander abſtoßend, vielleicht zugleich auch anziehend, und werden durch ähnliche Kräfte auch von den Theilchen der Körper afficirt, welche Kräfte ſämmtlich von der Art der Molecularkräfte ſind, unter deren Einfluß die Aethertheilchen, wenn keine Lichterſcheinung vor ſich geht, in dem Zuſtande des ſtabilen Gleichgewichtes ſtehen. Die ſelbſtleuchtenden Körper befinden ſich in ſchwingender Bewegung, durch welche das Gleichgewicht des angrenzenden Aethers geſtört, und dieſer in fortſchreitende Schwingungen verſetzt wird, die, wenn ſie bis zu unſerem Auge vordringen, dem in dieſem Organ enthaltenen Aether mitgetheilt werden, deſſen Einwirkung auf den Sehnerv die Empfindung des Sehens zur Folge hat. Hiernach beruht die Fortpflanzung des Lichtes auf der fortſchreitenden Wellenbewegung des Aethers; die Geſetze derſelben ſind in jenen enthalten, welche den Principien der Mechanik gemäß aus den erwähnten Vorausſetzungen über die Kräfte, unter deren Herrſchaft die Aethertheilchen ſtehen, ſich ergeben, und die Qualitäten eines Lichtſtrahles müſſen in räumlichen und quantitativen Beſtimmungen der Elemente dieſer Bewegung ihre Wurzel finden.

Der Einwurf, den man früher der Zuläßigkeit der Undulationshypotheſe entgegenſetzte, daß ihr gemäß kein Schatten möglich wäre, da, ſo wie man einen ſchallenden Körper hinter einer Wand hört, man auch einen leuchtenden Körper ſehen müßte, wenn ſich zwiſchen ihm und dem Auge undurchſichtige Körper befinden, beruht auf einem Mißverſtändniſſe, und wird durch die Art, auf welche die Undulationstheorie den Hergang der Beugung des Lichtes erklärt (ſ. das folgende Kapitel), vollſtändig gehoben. Ein anderer Einwurf, der den Widerſtand hervorhebt, welchen die Himmelskörper in dem Aether erfahren müßten, wenn dieſer wirklich exiſtirte, während ihre Bewegung ſo regelmäßig vor ſich geht, wie es nur in einem leeren Raume geſchehen kann, dürfte in den Augen desjenigen von keinem bedeutenden Gewichte ſeyn, der weiß, mit welcher Leichtigkeit ſich ein Körper in einem Fluidum zu bewegen vermag, das ungemein fein iſt, und durch die kleinſten Zwiſchenräume ungehindert geht. Aber auch dieſes geringe Gewicht hat er verloren, ſeitdem man an dem von Encke berechneten Kometen wirklich eine Retardation bemerkt hat, die auf ein widerſtehendes Mittel zu ſchließen erlaubt. Daß dieſes die Bewegung der Planeten nicht merklich verzögert, kommt auf Rechnung der viel größeren Dichte derſelben.

Seit Newton, bis zur neueſten Zeit, herrſchte unter den Phyſikern die Anſicht, das Licht ſey eine eigene, aus äußerſt feinen Theilchen beſtehende Materie, die von den leuchtenden Körpern ausſtrömt, von

den beleuchteten reflectirt wird, und in das Auge gelangend die Empfindung des Sehens hervorbringt. Man bezeichnet dieſe Anſicht mit der Benennung Emanationsſyſtem. Die Unhaltbarkeit derſelben wird bei der näheren Entwicklung der Geſetze, an welche das Licht gebunden iſt, ſchlagend hervortreten.

217. In der Undulationstheorie der Lichtphänomene finden die am Ende des erſten Theiles dieſes Buches (352—359) vorgetragenen Lehren über die fortſchreitenden Schwingungen elaſtiſcher Medien ihre vollſte Anwendung. Der freie, d. h. nicht im Inneren eines wägbaren Körpers enthaltene Aether wird (da kein Grund vorliegt, etwas Anderes zu denken), als ein nach allen Richtungen gleich elaſtiſches Medium betrachtet; der in den Zwiſchenräumen der Körper befindliche Aether aber nimmt an der Anordnung der Molekel ſelbſt Antheil in Folge der Einwirkungen, die er von dieſen erfährt. Iſt die Subſtanz eines Körpers unkryſtalliniſch, oder nach dem teſſularen Syſteme kryſtalliſirt, ſo beſitzt der Aether ebenfalls nach allen Richtungen einerlei Elaſticität; in den übrigen kryſtalliſirten Stoffen aber ändert ſich die Elaſticität bei dem Uebergange von einer Richtung zur andern. Die Theilchen des Aethers in einem Körper ſind in allen dieſen Fällen entweder ſo geordnet, daß eine partielle Erſchütterung des Aethers fortgepflanzt werden kann, oder ſie haben keine ſolche Anordnung. Je nachdem das erſtere oder das letztere Statt findet, iſt der Körper durchſichtig oder undurchſichtig. In einem nach allen Richtungen gleich elaſtiſchen Medium hat eine örtliche Störung des Gleichgewichtes (wenn überhaupt eine Wellenbewegung daſelbſt möglich iſt) die Bildung zweier Wellen zur Folge, einer, worin die Theilchen transverſal, einer anderen, worin ſie longitudinal ſchwingen. In der Lichtlehre kommt jedoch bloß eine dieſer Wellen in Betrachtung, und zwar, wie in der Folge bewieſen wird, die mit transverſalen Schwingungen verſehene: ſey es, daß longitudinale Vibrationen im Aether wegen des großen Widerſtandes, den er jeder Aenderung ſeiner Dichte entgegenſetzt, ganz unmerklich ſind, oder daß ſie auf unſer Auge nicht den Eindruck des Lichtes machen. In kryſtalliniſchen Medien ſtellen ſich zwei mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten fortſchreitende Wellen transverſaler und zwar polariſirter Schwingungen ein; Schwingungen in unregelmäßigen Bahnen können nur in dem nach allen Richtungen gleich elaſtiſchen Aether fortgepflanzt werden. Das Licht, welches auf Schwingungen letzterer Art beruht, heißt gemeines Licht, zum Unterſchiede von dem polariſirten, das wieder nach Beſchaffenheit der Bahnen der ſchwingenden Aethertheilchen entweder geradlinig oder circular oder elliptiſch polariſirtes Licht iſt. Wie dieſe Unterſchiede ſich in der Wahrnehmung durch das Auge charakteriſiren, kann erſt in der Folge erklärt werden. Ein anderer Unterſchied des Lichtes iſt aber gleich vom Beginne der Unterſuchung feſtzuhalten, nämlich jener des einfachen und des zuſammengeſetzten Lichtes. Erſteres iſt jenes, das durch das Prisma nicht weiter zerlegt wird. Man ſetzt in der Undulationstheorie voraus, und die Uebereinſtimmung der Erfah-

rung mit der Theorie rechtfertiget dieſe Vorausſetzung, daß das einfache Licht auf einfachen Schwingungen beruhe, deren Componenten den in I. 358 aufgeſtellten Geſetzen gehorchen. Die Farbe des Lichtes hängt von der Schwingungsdauer ab; die Intenſität des Lichtes wird offenbar durch die Schwingungsweite oder durch die dieſer proportionirte Schwingungsintenſität beſtimmt. Um den Erſcheinungen zu genügen, muß man die Intenſität des Lichtes dem Quadrate der Schwingungsweite oder der Schwingungsintenſität proportional annehmen.

218. Der Schlüſſel zu allen Erklärungen der Lichterſcheinungen liegt in dem Principe der Interferenz, d. i. in der Zuſammenſetzung und Zerlegung der Schwingungen. Jeder Punct einer Lichtwelle wird als Mittelpunct neuer Schwingungen betrachtet, und die Welle in einer durch ihr Fortſchreiten herbeigeführten folgenden Poſition iſt das Reſultat der Interferenz aller von den Puncten der vorhergehenden herrührenden Elementarwellen. Hiebei iſt jedoch wohl zu merken, daß es in der Lichtlehre nicht auf die Betrachtung des Erfolges einer einzigen oder nur einiger wenigen, durch eben ſo viele urſprüngliche Bewegungen des leuchtenden Körpers erzeugten Erſchütterungen des Aethers ankommt, ſondern jederzeit vorausgeſetzt wird, der leuchtende Körper vollbringe eine große Anzahl Vibrationen, ſo daß Welle auf Welle folgt, mithin jede Welle in ihrer Poſition als etwas in ſeinem Schwingungszuſtande Fortbeſtehendes angenommen werden darf. Die ungeheure, aus den folgenden Unterſuchungen ſich ergebende Schnelligkeit der Lichtvibrationen bringt es mit ſich, daß in jeder für uns merkbaren noch ſo kurzen Zeit ſehr viele Schwingungen vor ſich gehen, und ſtellt ſomit die Zuläſſigkeit gedachter Annahme über jeden Zweifel. Werden nun in dem nämlichen Augenblicke auf ein und daſſelbe Aethertheilchen verſchiedene Phaſen einer beſtimmten Bewegungsform übertragen, ſo entſpringt daraus im Allgemeinen eine zuſammengeſetzte Bewegung; in ſpeciellen Fällen aber, wenn nämlich die interferirenden Bewegungen gleiche Intenſitäten, entgegengeſetzte Richtungen haben, und ſich in Phaſen befinden, die um eine halbe Undulation (oder was der Wirkung nach daſſelbe iſt, um ein ungerades Vielfaches einer halben Undulation) von einander abweichen, eine völlige Aufhebung des Lichtes. Es kommt bei der Anwendung des Interferenzprincipes auf die Erklärung der Lichterſcheinungen, wie das Folgende hinreichend bethätigen wird, ausſchließend nur der Fall vor, daß die an einem Aethertheilchen zuſammenzuſetzenden Bewegungen urſprünglich von derſelben Lichtquelle herrühren, allein von dieſer zu verſchiedenen Zeiten ausgegangen ſind, und nur deßhalb, weil ſie auf verſchiedenen Wegen fortgepflanzt wurden, in demſelben Augenblicke zuſammentreffen und zur Interferenz gelangen. Dieſe einleitenden Bemerkungen vorausgeſetzt, können wir jetzt zur näheren Betrachtung der Erſcheinungen ſelbſt übergehen, wobei wir zuerſt diejenigen in Erwägung ziehen, welche auf der Fortpflanzung des Lichtes in einerlei Medium und nach derſelben Gegend hin beruhen, ſodann aber auch

auf das reflectirte und gebrochene Licht unſere Aufmerkſamkeit richten. So lange nicht das Gegentheil erinnert wird, iſt unter dem Medium, worin ſich das Licht fortpflanzt, immer ein ſolches zu verſtehen, welches nach allen Richtungen dieſelbe Elaſticität beſitzt, wie dieß bei dem Aether in der Luft, worin die meiſten Lichterſcheinungen vor ſich gehen, im Waſſer, im gleichmäßig gekühlten Glaſe u. dgl. der Fall iſt. Bei den Betrachtungen in den nächſten Kapiteln wird es gar nicht darauf ankommen, ob die Aetherſchwingungen longitudinal oder transverſal erfolgen, wenn ſie nur von gleicher Art ſind. Später aber wird über die Natur dieſer Schwingungen ſelbſt entſchieden werden.

Zweites Kapitel.

Beugung des Lichtes.

219. Es gibt Erſcheinungen, welche mit der Annahme, daß das Licht ſich nothwendiger Weiſe in Folge ſeiner inneren, d. i. durch ſeine Natur gegebenen Beſchaffenheit ſtets geradlinig fortpflanzen müſſe, wie man dieß vordem allgemein vorausgeſetzt hat, unverträglich ſind. Eine der auffallendſten Erſcheinungen dieſer Art zeigt ſich an dem Schatten eines ſchmalen undurchſichtigen Körpers, z. B. eines geraden Drahtes, etwa einer gewöhnlichen Stricknadel, worauf man durch eine kleine Oeffnung am Fenſterladen des verfinſterten Zimmers, oder durch eine enge, dem Drahte parallele Spalte Sonnenlicht leitet. Anſtatt eines einförmigen dunklen Schattenbildes, deſſen Breite ſich zu jener des Drahtes verhält wie die Diſtanz des Schirmes, worauf man den Schatten fallen läßt, von der Lichtquelle zu der gleichnamigen Diſtanz des Drahtes, wie man es nach der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes erwarten ſollte, zeigt ſich eine Art Spectrum. Die Hauptform deſſelben ſtimmt wohl mit dem erwarteten Schattenbilde überein, nur iſt es bedeutend breiter; in der Mitte, wo gerade der intenſivſte Schatten ſeyn ſollte, ſieht man der Länge nach einen hellen Streifen, und zu beiden Seiten deſſelben dunkle Linien; bei größerer Diſtanz des Schirmes vom Drahte, deren nur zwei und außerhalb derſelben einige farbige Säume; bei geringerer Diſtanz des Schirmes aber mehrere, zu deren Wahrnehmung man jedoch ein Vergrößerungsglas zu Hilfe nehmen muß, wobei man ſogar des Schirmes ganz entbehren kann, da ſich die Erſcheinung, wenn man gegen den Draht hinſieht, auch vor dem Vergrößerungsglaſe in der Luft zeigt. Man erblickt da in der Mitte des Geſichtsfeldes ein Syſtem gleichweit von einander abſtehender, der Richtung des Drahtes parallelen dunklen Linien, die durch helle Zwiſchenräume getrennt ſind. Auf dieſe Weiſe ſieht man an dem Rande jedes auch breiteren, von einem Puncte aus beleuchteten Körpers mehrere farbige Streifen. Man betrachtete dieſe und verwandte ſogleich näher anzugebende Erſcheinungen als das Reſultat einer Ablenkung des Lichtes von ſeiner geraden Richtung durch

die Ränder des Körpers an dem es vorbeigeht, und nannte ſie **Beugung** oder **Inflexion** (**Diffraction**) des Lichtes, welche Benennungen noch gegenwärtig im Gebrauche ſind.

Schon **Grimaldi** hat um die Mitte des 17. Jahrhunderts die Eigenthümlichkeiten des Schattens eines ſchmalen Körpers bemerkt; die Beobachtungsweiſe mit dem Vergrößerungsglaſe wurde aber erſt in neuerer Zeit durch **Fresnel** und **Mayer** angewendet. Man hält das Vergrößerungsglas nicht dicht an das Auge, ſondern etwas davon entfernt, nämlich ſo weit, daß wenn man gegen das Licht hinſieht, das ganze Geſichtsfeld ſich erleuchtet zeigt. Auf dieſe Weiſe läßt ſich die obige Erſcheinung ſogar bei Kerzen- oder Lampenlicht beobachten.

220. Noch auffallender iſt das umgekehrte Phänomen, wenn man das von einem leuchtenden Puncte, oder beſſer von einer engen Spalte kommende Licht durch eine zweite der erſten parallele enge Spalte gehen läßt. Man kann die Erſcheinung mit einem Schirme auffangen oder mit einem Vergrößerungsglaſe betrachten, ja ſogar wenn die zweite Spalte nur gehörig eng iſt, ſich damit begnügen, dieſe dicht vor das Auge zu halten und nach der Lichtquelle hinzuſehen. Die vollkommenſte Beobachtungsweiſe iſt aber unſtreitig die von **Fraunhofer** angegebene. Man bedient ſich nach derſelben eines guten Fernrohres, welches man ſo richtet, daß man die Spalte am Fenſterladen deutlich ſieht und vor deſſen Objectiv man die andere Spalte anbringt. Man nimmt da eine ſehr ſchöne Erſcheinung wahr. Zielt das Fernrohr ſammt der davor befindlichen Spalte gerade gegen die Lichtquelle, ſo ſieht man in der Mitte des Geſichtsfeldes einen weißen Streifen a, Fig. 271, deſſen Höhe ſo groß als die ſcheinbare Höhe der Lichtlinie, deſſen Breite aber um ſo größer iſt, je enger man die Spalte vor dem Fernrohre macht. Dieſer Streifen iſt gegen beide Enden zu gelb und zuletzt roth gefärbt; zu beiden Seiten deſſelben erblickt man eine Folge von Farbenbildern in übereinſtimmender Anordnung, und zwar zunächſt ein lebhaftes Farbenbild b, welches unmerklich in ein zweites, minder intenſives c, dann in ein drittes wieder ſchwächeres d übergeht u. ſ. f. An der, der Mitte der ganzen Erſcheinung zugekehrten Seite iſt die Farbe jedes Bildes violett, dann folgt Blau, Grün und zuletzt Roth, man erkennt aber nur im erſten Farbenbilde alle ſechs Farben, beim zweiten fehlt Violett, beim dritten Violett und Blau ꝛc. Ein am Ocularglaſe des Fernrohrs angebrachtes kleines Prisma, deſſen Axe horizontal ſtehen muß, wenn die Oeffnung des Schirmes vertical iſt, zeigt, daß die der Axe nahen Farbenbilder nicht aus homogenem Lichte beſtehen, daß es aber die weiter von der Axe entfernten allmälig werden. Je kleiner die Oeffnung am Schirme iſt, deſto mehr rücken die Farbenbilder aus der Mitte des Geſichtsfeldes und deſto breiter werden ſie, ſo, daß die Ablenkungswinkel des Lichtes ſtets der Breite der Oeffnung verkehrt proportionirt ſind. Die Abſtände beſtimmter Strahlen in den auf einander folgenden Farbenbildern, z. B. der rothen, wachſen zu beiden Seiten von der Mitte, wie die Glieder einer arithmetiſchen Reihe, deren

Differenz dem erſten Gliede gleich iſt. Die Breite der Oeffnung am Fenſter, durch welche man das Licht einläßt, hat auf die Anordnung und Lage der einzelnen Farbenbilder keinen Einfluß, ſie beſtimmt aber die Reinheit und Deutlichkeit der Farben, weil der einfallende Lichtbüſchel bei einer verticalen Spalte gleichſam aus verticalen Lichtlinien beſteht, deren jede ihr Farbenbild gibt. Bei einer nur etwas breiten Oeffnung verurſacht das Aufeinanderfallen mehrerer ſolchen Bilder eine Undeutlichkeit, daher es auch kommt, daß bei einer gewiſſen Größe der Spalte alle Farben verſchwinden.

221. Iſt das gebeugte Licht gleichartig, welches man entweder durch ein der lichtgebenden Spalte jenſeits des Fernrohres vorgeſetztes Prisma erhalt, oder auch nur dadurch, daß man das Phänomen durch ein gefärbtes Glas oder durch eine gefärbte Flüſſigkeit, welche nur gleichartiges Licht durchläßt, betrachtet, ſo erſcheinen ſtatt der Farbenbilder, die ſich im vollen Sonnenlichte zeigen, Streifen von der Farbe des durchgelaſſenen Lichtes, welche durch völlig dunkle Schattenräume von einander getrennt ſind. Jedoch iſt die Intenſität des farbigen Lichtes und der dunkeln Stellen nicht allenthalben gleich, ſondern es gibt in jedem Farbenſtreifen eine am ſtärkſten beleuchtete Linie, von der zu beiden Seiten die Lichtſtärke allmälig abnimmt, und ins völlige Schwarz übergeht. Je mehr ſich dieſe Streifen von der Mitte entfernen, deſto ſchwächer findet man ſie, bis ſie endlich ganz undeutlich und unſichtbar werden. Die Farbenſtreifen ſind im violetten Lichte ſchmäler als im blauen, in dieſem ſchmäler als im grünen und ſo fort bis zum rothen. Hierdurch wird das Farbenſpiel des Beugungsphänomens im weißen Licht begreiflich; es iſt das Reſultat des gleichzeitigen Vorhandenſeyns der den einzelnen Lichtſorten, welche das weiße Licht zuſammenſetzen, entſprechenden Erſcheinungen.

Man findet leicht rothe Gläſer, die nahe nur homogenes Licht durchlaſſen. Für blaues Licht dient ſehr gut ſchwefelſaures Kupferoxyd-Ammoniak, welches man darſtellt, indem man einer Kupfervitriollöſung ſo lange Ammoniak zuſetzt, bis der anfänglich ſich zeigende Niederſchlag ſich wieder auflöſt. Man füllt die ſchön blaue Flüſſigkeit in eine Flaſche mit parallelen Wänden. Ob ein Glas oder eine Flüſſigkeit nur homogenes Licht durchlaſſe, findet man wenn man das gefärbte Medium vor das mittelſt eines Prismas nach einer Lichtflamme ſehende Auge bringt. Es darf von dem Farbenbilde nur eine Farbe übrig bleiben, wenn das Glas oder die Flüſſigkeit brauchbar ſeyn ſoll.

222. Stellt man vor das Objectiv des Fernrohres, auf welches weißes Licht fällt, einen Schirm mit zwei gleichen ſchmalen einander nahen Oeffnungen, ſo ſieht man Spectra, welche denen ganz ähnlich ſind, die eine einzelne dieſer Oeffnungen für ſich geben würde; aber in der Mitte des Geſichtsfeldes (vorausgeſetzt, daß die Axe des Fernrohres gegen die Spalte am Fenſter gerichtet iſt) finden ſich ſtatt des weißen Streifens, den eine der Oeffnungen gegeben hätte, ſchmale Farbenbilder vor, durch welche dieſer Streifen getheilt wird; die Mittellinie des Geſichtsfeldes nimmt ein weißer Streifen ein. Wendet man einen Schirm mit drei Oeffnungen an, ſo entſtehen zwiſchen den

ſo eben erwähnten Farbenbildern in der Mitte des Geſichtsfeldes neue, deren Zahl ſich vermehrt, während ſie an Breite abnehmen, wenn man einen Schirm mit vier, fünf Spaltöffnungen u. ſ. w. vor das Objectiv bringt. Hiebei ändern ſich die äußeren Farbenbilder nur wenig. Um dieſe Erſcheinungen wahrzunehmen, bediene man ſich eines Gitters mit vielen gleichen parallelen Zwiſchenräumen, ſetze vor dasſelbe einen Schirm mit einer Spalte, die ſich erweitern läßt, und geſtatte ſo allmälig dem Lichte durch mehrere dieſer Spaltöffnungen den Eingang in das Fernrohr. Tritt eine große Anzahl Oeffnungen in Wirkſamkeit, ſo werden der letzteren Farbenbilder ſo viele, und ſie ſelbſt ſo ſchmal, daß ſie zuletzt kaum merklich ſind, und der weiße Streifen in der Mitte des Geſichtsfeldes geſtaltet ſich immer mehr zum Bilde der Oeffnung am Fenſterladen. Man hat daher, wenn Strahlen durch eine geringe Anzahl von gleichen parallelen Spaltöffnungen ins Fernrohr kommen, dreierlei Spectra zu unterſcheiden, äußere, oder nach Fraunhofer, Spectra der erſten Claſſe, die ſchon bei einer einzigen beugenden Spaltöffnung vorhanden ſind; mittlere oder Spectra der zweiten Claſſe, die bei Anwendung von zwei Spaltöffnungen eintreten und bei wachſender Anzahl der Oeffnungen ſich fort erhalten; innere oder Spectra der dritten Claſſe, die erſt bei drei Spaltöffnungen entſtehen, und bei wachſender Anzahl der Oeffnungen ſich vervielfältigen und weniger merklich werden. Aus genauen Meſſungen folgt: 1) Bei einem und demſelben Gitter, aber einer verſchiedenen Anzahl Oeffnungen verhalten ſich die Abſtände derſelben unvollkommenen Farbenbilder von der Axe umgekehrt, wie die Anzahl der gebeugten Strahlen. 2) Bei verſchiedenen Gittern und einer gleichen Anzahl Zwiſchenräume wachſen die Abſtände derſelben Farbenbilder von der Axe, wie verkehrt die Entfernungen der Mitte zweier Zwiſchenräume. 3) Die Abſtände der einzelnen Farbenbilder von der Axe wachſen, wie die Glieder einer arithmetiſchen Reihe, deren Differenz dem erſten Gliede gleich iſt.

223. Macht man dieſen Verſuch mit homogenem Lichte, ſo ſieht man die von dieſem Lichte herrührenden Antheile der Spectra der zweiten Claſſe ſich bei wachſender Anzahl der Oeffnungen nicht bloß in der Mitte des Geſichtsfeldes, ſondern auch an den übrigen Orten zu Bildern der Oeffnung am Fenſterladen geſtalten, zwiſchen welchen ſich die dem gewählten Lichte entſprechenden Antheile der Spectra der dritten Claſſe zeigen, die alſo auch nicht bloß in der Mitte des Geſichtsfeldes vorhanden ſind. Die Dimenſionen der Erſcheinung ſind für rothes Licht am größten und nehmen bis zum violetten ſtufenweiſe ab.

224. Läßt man endlich weißes Licht durch eine ſehr große Anzahl ſchmaler Oeffnungen gehen, deren Entfernungen von einander vollkommen gleich ſind, indem man ein Gitter mit ſehr vielen kleinen Oeffnungen vor das Objectiv des Fernrohres ſtellt und durch eine ſchmale Oeffnung Licht darauf leitet; ſo ſieht man die Oeffnung am Helioſtat wie ohne Gitter (Fig. 272) und in einiger Entfernung davon zu beiden Seiten, vollkommen ſymmetriſch, eine große Anzahl Farbenbilder, wie

die, welche ein gutes Prisma hervorbringt; ſie werden breiter, aber auch matter, ſo wie ſie ſich von der Mitte entfernen. Die erſten ſind durch dunkle Zwiſchenräume von einander getrennt, dieſe werden aber bei den folgenden immer ſchmäler, bis ſie ganz verſchwinden und die Spectra unvermerkt in einander übergehen, ſich auch zum Theile decken. Man bemerkt auch bei gehöriger Stellung des Oculars in dieſen Farbenbildern die dunklen Linien, zum Beweiſe, daß die Spectra aus homogenem Lichte beſtehen. Zugleich finden folgende Geſetze der Ablenkung des Lichtes Statt: 1) Bei verſchiedenen Gittern aus ſehr vielen, parallelen, gleich dicken Fäden und gleichen Zwiſchenräumen verhalten ſich die Sinuſſe der Ablenkungswinkel gleicher Theile der Farbenbilder umgekehrt wie die Entfernungen der Mitte zweier Zwiſchenräume. 2) Für jedes einzelne Gitter bilden die Sinuſſe der Ablenkung gleichartiger, farbiger Strahlen der verſchiedenen Farbenbilder Glieder einer arithmetiſchen Reihe, deren Differenz dem erſten Gliede gleich iſt. Das Auftreten der Spectra mit homogenem Lichte erklärt ſich leicht aus 223. Jedes ſolche Spectrum iſt die Aufeinanderfolge der Bilder der Spalte am Fenſterladen für einfache Lichtſorten von verſchiedener Farbe. Wo Licht von einer gewiſſen Abſtufung mangelt, erſcheint eine Lücke als dunkle Linie. Die Bilder in der Mittellinie des Geſichtsfeldes decken ſich, und geben daher ein weißes Bild der Spalte am Fenſter.

Gitter zu dieſem Verſuche erhält man am beſten, wenn man entweder dünnen Gold- oder Silberdraht in die Gänge ſehr feiner Schrauben ſpannt, oder wenn man in ein mit Goldblättchen belegtes Planglas Parallellinien radirt, oder nur mit einem Diamant in ein Planglas ſolche Linien zieht. Fraunhofer bediente ſich bei den ſubtilſten Verſuchen dieſer Art eines auf die letzte Art verfertigten Gitters aus 3601 Linien, deren je zwei von ihrer Mitte aus gerechnet nur 0.0001223 P. Zoll von einander abſtanden.

225. Sehr überraſchende Erſcheinungen, durch Farbenpracht und Symmetrie ausgezeichnet, zeigen ſich, wenn Strahlen durch mehrere runde oder eckige Oeffnungen auf das Objectiv des Fernrohres fallen, mithin Strahlen, die nach mehreren Richtungen gebeugt ſind, zuſammen wirken. Fällt z. B. das Licht durch zwei gleiche, aber kleine, runde Oeffnungen auf das Objectiv des Fernrohres, ſo erblickt man darin die Erſcheinung, welche Fig. 273, a, vorſtellt, wo die weißen Räume Farbenbilder ſind. Bei drei ſolchen Oeffnungen, deren Mittelpuncte ein gleichſeitiges Dreieck geben, ſieht man das Phänomen, welches Fig. 273, b, andeutet. Unbeſchreiblich prächtig ſind die Erſcheinungen, die man erhält, wenn das Licht durch viele gleich geſtaltete, und in ſymmetriſcher Anordnung neben einander abſtehende kleine Oeffnungen ins Fernrohr tritt. Sie hängen von der Geſtalt und Anordnung dieſer Oeffnungen ab, laſſen ſich aber nicht wohl in einem kleinen Raume abbilden.

Als Beleg des Geſagten mag die von Fraunhofer zuerſt dargeſtellte Beugungserſcheinung dienen, welche zwei gekreuzte Gitter mit gleichen

Spaltöffnungen geben, wodurch gleichſam ein Gitter mit quadratiſchen gleichen und gleichweit von einander abſtehenden Oeffnungen entſteht; ferner die eines Gitters mit vielen regelmäßig geſtellten dreieckigen Oeffnungen, dergleichen von Herſchel und Schwerd conſtruirt wurden, wobei die dichten Gruppen der farbigen Spectra durch die Radien eines ſechsſtrahligen Sternes geſondert erſcheinen u. dgl. Man kann viele dieſer und die vorhin beſchriebenen Erſcheinungen, welche Gitter mit parallelen Zwiſchenräumen zeigen, mit einfachen Mitteln hervorbringen, dergleichen vorzüglich von Schwerd angegeben worden ſind. Feine Gitter braucht man nur vor das Auge zu halten und nach einem Lichtpuncte hinzuſehen, den das an der converen Fläche eines geſchwärzten Uhrglaſes, in einem polirten Metallknopfe, einer gefüllten Thermometerkugel u. dgl. ſich ſpiegelnde Sonnenbildchen darſtellt; eine leuchtende Linie erhält man durch Spiegelung einer Stricknadel, einer Glasröhre ꝛc. im Sonnenlichte. Bequemer iſt allerdings ein Handheliostat. Ueberhaupt bedarf man keines verfinſterten Zimmers. Die einfacheren, mittelſt eines Fernrohres zu betrachtenden Gitter, laſſen ſich aus Kartenpapier, oder beſſer aus Stanniol, den man auf einen Rahmen ſpannt oder auf Glas klebt, ausſchneiden.

226. So lange das Licht auf ein durchſichtiges oder undurchſichtiges Gitter ſenkrecht einfällt, erſcheinen die durch Beugung entſtandenen Spectra zu beiden Seiten des Bildes der Spalte vollkommen ſymmetriſch angeordnet, bei ſchief einfallendem Lichte hört jene Symmetrie auf, und die einzelnen Spectra erſcheinen an der Seite, welche mit dem einfallenden Strahle einen ſpitzigen Winkel macht, größer als an der andern; dieſe Ungleichheit wächſt mit dem Einfallswinkel des Lichtes.

227. Alle Beugungsphänomene ſtimmen darin überein, daß ſie von der materiellen Beſchaffenheit der das Licht beugenden Körper gänzlich unabhängig ſind, und ſich lediglich nach den Dimenſionen derſelben richten. Der das Licht beugende Draht (219) kann durch die Schneide oder den Rücken eines Meſſers, durch ein Haar, einen Streifen Papier, einen auf Glas gezeichneten oder radirten Strich ꝛc. erſetzt werden; die Gitter kann man aus jedem beliebigen durchſichtigen oder undurchſichtigen Materiale anfertigen. Hiebei iſt alſo nichts den Molecularkräften oder der Gravitation Aehnliches im Spiele. Die Undulationstheorie, und nur ſie allein, gibt über den Grund dieſer Erſcheinungen Aufſchluß, was ſie aber bis in das kleinſte Detail zu thun vermag, wie die folgenden Deductionen zeigen werden, bei welchen wir mit der Betrachtung der Beugung des Lichtes durch eine oder mehrere enge Spalten, als dem leichteren Falle, den Anfang machen.

228. Es ſey AB, Fig. 274, der Durchſchnitt eines mit einer engen Spalte CD verſehenen Schirmes mittelſt einer Ebene, die ſenkrecht gegen die parallelen Ränder der Spalte gelegt wurde. Von einem leuchtenden Puncte falle gleichartiges Licht ſenkrecht auf die Oeffnung CD aus einer ſolchen Entfernung, daß alle dieſe Oeffnung treffenden Strahlen als parallel betrachtet werden dürfen. In jedem Augenblicke tritt in die Oeffnung CD eine neue Welle ein, von deren Krümmung wir aus dem angeführten Grunde abſtrahiren, d. h. die wir als eben anſehen. Alle Aethertheilchen in der Oeffnung CD werden in jedem

Augenblicke von einer Welle gemeinſchaftlich ergriffen, ſie ſind daher in demſelben Augenblicke in einerlei Vibrationsphaſe. Errichten wir in dem Halbirungspuncte E auf CD in der Ebene des Schnittes eine Senkrechte EF, ziehen wir ferner durch den in einer bedeutenden Entfernung von E befindlichen Punct F eine Parallele MN zu AB, und betrachten wir dieſe als den Durchſchnitt einer Tafel, auf der das Beugungsphänomen, welches die Folge des Durchganges des Lichtes durch die Spalte CD iſt, ſich zeigen ſoll. Von allen in der Oeffnung CD vorhandenen Aethertheilchen gehen in jedem Augenblicke nach allen Richtungen Schwingungen aus, durch welche (da wir hier nur den Hergang des Phänomens in der Luft betrachten) das Licht mit einerlei Geſchwindigkeit fortgepflanzt wird. Hiebei wird die Phaſe, in der ſich jedes der genannten Aethertheilchen befindet, auf alle dasſelbe umgebenden Aethertheilchen übertragen. Treffen nun in einem Puncte der Tafel MN, z. B. in dem Puncte G, Schwingungen zuſammen, die verſchiedene Wege wie CG, EG, DG, zurückgelegt haben, ſo ſind dieſelben von den Puncten C, E, D nicht in demſelben Augenblicke ausgegangen, ſondern die Schwingung, die von C herrührt, iſt, da ſie einen längern Weg CG zurückzulegen hatte, früher ausgegangen, als die von E herrührende, und dieſe wieder früher, als die von D erzeugte. Deßhalb befinden ſich dieſe Schwingungen im Augenblicke ihres Zuſammentreffens in G in verſchiedenen Phaſen, nämlich die Schwingung, welche das Aethertheilchen in C lieferte, in einer früheren als die von E, und dieſe wieder in einer früheren als die von D herkommt. Aehnliche Betrachtungen gelten von den Schwingungen, welche die übrigen Aethertheilchen innerhalb der Oeffnung CD nach G ſenden. Aus der Interferenz aller dieſer Vibrationen geht eine Intenſität des Lichtes in G hervor, die nach der Poſition dieſes Punctes auf der Tafel MN wechſelt. Wir wollen nun dieſe Intenſität an verſchiedenen Stellen der Tafel MN näher ins Auge faſſen. Im Puncte F kommen Vibrationen zuſammen, die ſich ſämmtlich in wenig von einander abweichenden Phaſen befinden, weil wegen der größeren Entfernung der Tafel MN vom Schirme AB im Vergleiche gegen CD, der Unterſchied zwiſchen CF und EF nur äußerſt gering iſt. Dieſe Vibrationen unterſtützen einander und bringen in F eine Schwingungsintenſität zu Stande, die der Summe der einzelnen Schwingungsintenſitäten nahe gleich kommt, womit auch die Lichtintenſität eine Steigerung erfährt. In F iſt daher dieſe Intenſität am größten. Schreitet man von da nach der einen oder der andern Seite der Tafel MN fort, ſo nimmt die Intenſität des Lichtes ab. Je weiter man kommt, deſto beträchtlicher wird die Differenz der äußerſten Strahlen wie CG und DG, welche Differenz an der Stelle F gleich Null war. Sobald dieſe Differenz der Wellenlänge L gleich geworden iſt, was jedoch wegen $CG - DG < CD$ nur dann eintreten kann, wenn die Breite der Spalte CD die Größe von L übertrifft, hat man eine Stelle erreicht, in welcher völlige Aufhebung des Lichtes Statt findet. Es ſey nämlich die Poſition des Punctes G von der Art, daß

$CG - DG = L$ iſt, ſo iſt ſehr nahe $CG - EG = \frac{1}{2}L$, und überhaupt wenn α und β Puncte ſind, deren erſterer von C ſo weit abſteht, als β von E, iſt ſehr nahe $\alpha G - \beta G = \frac{1}{2}L$. Man kann daher für jedes Theilchen zwiſchen C und E ein Theilchen zwiſchen E und D angeben, welches eine Schwingung nach G ſendet, die ſich rückſichtlich der vom erſteren ausgehenden in entgegengeſetzter Phaſe befindet, mithin dieſelbe aufhebt. Daſſelbe ereignet ſich im Puncte G′, wenn die Differenz der Strahlen CG′ und DG′ das Doppelte der Wellenlänge L beträgt. Dann kann man nämlich auf CE und ED wegen $CG' - EG' = L$ und $EG' - DG' = L$ das ſo eben Geſagte anwenden. Dieſelbe Bewandtniß hat es, wenn der Punct G″ ſo liegt, daß $CG'' - DG'' = 3L$ iſt u. ſ. w. In den Puncten G, G′, G″... auf beiden Seiten von EF wird dem gemäß Dunkelheit herrſchen. Zwiſchen G und G′ wächſt die Intenſität des Lichtes bis zu einem gewiſſen Grade, und nimmt ſodann wieder ab; ein Gleiches iſt zwiſchen G′ und G″ der Fall u. ſ. w. Beſchreibt man aus G mit dem Halbmeſſer GD den Bogen DH, ſo iſt $CH = CG - DG$. Läßt man dieſen Bogen für eine gerade Linie gelten, die auf GE ſenkrecht ſteht, ſo iſt der Winkel $CDH = FEG$, mithin, wenn man letzteren Winkel durch φ bezeichnet, $\sin\varphi = \frac{CH}{CD}$. Setzt man nun die Breite der Spalte $CD = a$ und $CG - DG = nL$, wobei n eine ganze Zahl vorſtellt, ſo iſt $\sin\varphi = \frac{nL}{a}$. Mittelſt dieſer Formel läßt ſich, wenn L bekannt iſt, der Ablenkungswinkel der Stellen, wo Dunkelheit herrſcht, von der Mittellinie der Erſcheinung berechnen. Iſt die Spalte ſo eng, daß $a < L$ wird, ſo gibt dieſe Formel $\sin\varphi > 1$ was unmöglich iſt; in dieſem Falle herrſcht nirgends auf MN Dunkelheit. Iſt aber a in Vergleich mit L groß, folglich $\frac{L}{a}$ klein, ſo kann man ſtatt des Sinus von φ den Bogen ſelbſt ſetzen, alſo $\varphi = \frac{nL}{a}$. Dieſe Gleichung gibt das in 220 angekündigte Geſetz, wornach ſich die Abſtände der gleichnamigen Stellen der Farbenbilder richten. Umgekehrt läßt ſich, wenn φ durch Beobachtung gegeben iſt, L finden, denn man hat $L = \frac{a \sin\varphi}{n}$. Hier wurden bloß die Strahlen, welche in der Schnittebene ABNM liegen, berückſichtiget. Es iſt aber für ſich klar, daß dieſelben Schlüſſe auch auf die Strahlen ausgedehnt werden können, welche von einem höheren oder tieferen Querſchnitte ausgehend auf G fallen. Statt der Tafel MN kann man ſich auch das Geſichtsfeld denken, welches mittelſt eines Vergrößerungsglaſes oder mittelſt eines Fernrohres betrachtet wird.

Wendet man zur Beobachtung der Erſcheinung nach Fraunhofer ein Fernrohr an, vor deſſen Objectiv der Schirm mit der Spalte ſteht, und deſſen Ocular ſo gerichtet iſt, daß man den Punct, von welchem das Licht kommt, deutlich ſieht, ſo kann man ohne merklichen Fehler die das Objectiv treffenden Strahlen als parallel gelten laſſen. Alle Elementarſtrahlen, welche nun von der Spalte nach was immer für

parallelen Richtungen zu dem Objectiv gelangen, vereinigen ſich in einem Puncte des durch die Mitte des Objectives gehenden Strahles, und haben dabei (wie aus der ſpäter folgenden Theorie der Brechung des Lichtes zu erſehen ſeyn wird) die Phaſen, mit welchen ſie in irgend einer vor dem Objective auf dieſen Strahl ſenkrecht gelegten Ebene eintreffen. Hierauf beruht auch der Umſtand, daß die Höhe der Beugungsſpectra nicht größer iſt, als die ſcheinbare Höhe der kleinen Oeffnung, von welcher das Licht ausgeht, weßwegen man dieſe Oeffnung mit einer Spalte vertauſchen muß, um die Spectra mit einiger Höhe zu erhalten. Ihre Höhe wird dann der ſcheinbaren Höhe der Spalte am Helioſtate gleich.

229. Es ſeyen im Schirme AB (Fig. 275) zwei einander nahe gleiche und parallele Spalten CD, C′D′ angebracht. Fallen wie vorhin homogene Lichtſtrahlen ſenkrecht auf AB, ſo wird jede der Oeffnungen CD, C′D′ für ſich das vorhin betrachtete Phänomen veranlaſſen. Liegen daher die Puncte G, G′, G″.. auf der Tafel MN oder im Geſichtsfelde des Fernrohres, ſo daß für ſie hinſichtlich der Oeffnung CD, $\sin\varphi = \frac{L}{a}, = \frac{2L}{a}, = \frac{3L}{a} \ldots$ iſt, wobei φ, L und a die frühere Bedeutung haben ſo, wird, in ſofern man bloß dieſe Oeffnung wirkſam denkt, in G, G′, G″... Dunkelheit herrſchen. Eben ſolche Puncte werden ſich in Bezug auf das durch die Oeffnung C′D′ gehende Licht ergeben. Wendet man zur Beobachtung des Beugungsphänomens ein Fernrohr an, ſo fallen dieſe Puncte offenbar mit den früheren zuſammen (ein Grund, der nebſt anderen den Gebrauch des Fernrohres empfiehlt). Auf einer Tafel dagegen ſind ſie um die Größe des Intervalles CC′ getrennt, und fallen daher, wenn DC′ klein iſt, ſehr nahe an einander, ſo daß die den beiden Oeffnungen gehörenden dunklen Stellen im erſten Falle genau, im letzteren beinahe einander decken und übereinſtimmend wirken. Nicht ſo iſt es aber bei den lichten Stellen, denn es kommen da durch die Interferenz der Elementarſtrahlen, die von CD ausgehen, mit jenen, die in C′D′ ihren Urſprung haben, beſondere Effecte zu Stande. Liegt nämlich der Punct g auf MN ſo, daß die Differenz Cg — C′g der Hälfte der Wellenlänge, d. i. $\frac{1}{2}$L, gleich kommt, ſo werden alle Strahlen, die von CD nach g gelangen, durch die von C′D′ dahin geſendeten getilgt, denn für zwei Puncte γ, γ', deren einer in CD, der andere in C′D′ ſo liegt, daß $C\gamma = C'\gamma'$ iſt, hat die Differenz $\gamma g - \gamma' g$ wegen der Kleinheit von CD, C′D′ hinſichtlich des Abſtandes der Tafel MN von AB ſehr nahe den Werth $\frac{1}{2}$L, mithin gibt es für jeden Strahl von CD einen von C′D′, der nach g in jedem Augenblicke die entgegengeſetzte Phaſe von der hinbringt, die das dort befindliche Aethertheilchen in demſelben Augenblicke durch den erſteren Strahl erhält, wornach in g kein Licht Statt hat. Dasſelbe gilt von den Puncten g′, g″ ꝛc., wenn Cg′— C′g′ $= \frac{3}{2}$L, Cg″ — C′g″ $= \frac{5}{2}$L iſt u. ſ. w. Heißt der Winkel, um den jeder nach einem der Puncte g, g′, g″ ꝛc. gehende Strahl von der Senkrechten auf AB abweicht, ψ, ſo beſteht zur Beſtimmung der Poſition dieſer Puncte die Gleichung $\sin\psi = \frac{uL}{2b}$, wobei u eine unge-

rade ganze Zahl, und b die Diſtanz CC', oder was dasſelbe iſt, die Diſtanz der Mitten der Spaltöffnungen vorſtellt, welche Gleichung auf dieſelbe Weiſe, wie die in 228 abgeleitete gefunden wird. In der Mitte zwiſchen je zwei benachbarten der Puncte g, g', g''... findet die größte Lichtſtärke Statt; die Oerter derſelben werden durch die Gleichung $\sin\psi = \frac{mL}{b}$ gegeben, worin m eine ganze Zahl iſt.

Das Auftreten der inneren Spectra bei einem Schirme mit zwei Oeffnungen, während dieſe, wenn man eine der Oeffnungen zudeckt, ohne Störung der äußeren Spectra wegfallen, kann als experimentaler Beweis der Wirklichkeit der Lichtinterferenz dienen, insbeſondere der Aufhebung des Lichtes bei dem Zuſammentreffen zweier Strahlen unter gewiſſen Umſtänden. Schon Grimaldi hat den Satz ausgeſprochen, daß durch Hinzufügung von Licht zu Licht Dunkelheit entſtehen könne, es wurde aber dieſe Behauptung nicht beachtet, bis Young 1800 durch theoretiſche Betrachtungen geleitet, ſeine Aufmerkſamkeit auf die nach ihm ſogenannte Interferenz des Lichtes richtete, und das ſo eben erwähnte Factum zur Nachweiſung ihrer Realität benützte.

230. Enthält der Schirm drei oder mehrere gleiche, parallele und gleichweit von einander abſtehende Spalten, ſo entſteht im homogenen Lichte ein Beugungsphänomen, demjenigen ähnlich, welches eine einzelne der Oeffnungen für ſich gegeben hätte, und aus dem Zuſammenfallen der den einzelnen Oeffnungen zukommenden entſpringend. Die dunklen Stellen desſelben werden durch die Gleichung $\sin\varphi = \frac{nL}{a}$ gegeben, wobei a die Breite einer Oeffnung bedeutet. Außerdem aber wirken die von den einzelnen Oeffnungen herrührenden Strahlen auf einander wechſelweiſe ein, und vernichten ſich an gewiſſen Stellen. Es ſeyen z. B. fünf Oeffnungen vorhanden. Man nehme auf der Tafel **MN**, Fig. 276, einen Punct g, ſo daß die Differenz

$$Cg - C'g = C'g - C''g = C''g - C'''g = C'''g - C^{IV}g$$

den fünften Theil der Wellenlänge ausmacht, d. i. $= \frac{1}{5}L$ iſt, ſo herrſcht in g Dunkelheit. Es läßt ſich dieſes mit Zugrundelegung der im erſten Theile 358 angegebenen Formeln durch Rechnung beweiſen. Gibt man zu, daß durch Interferenz gleichartigen Lichtes nur eine Aenderung der Intenſität, aber keine Aenderung der Farbe Statt finden könne, ſo läßt ſich die Richtigkeit der gemachten Behauptung durch folgendes populäre Raiſonnement anſchaulich machen. Nehmen wir an, das vom Puncte C nach g in irgend einem Augenblicke geſendete Licht befinde ſich in einer gewiſſen Phaſe, ſo iſt die Phaſenzeit des Lichtes, welches in demſelben Augenblicke von C' nach g kommt, um den fünften Theil der Schwingungsdauer $= \frac{1}{5}T$ gegen erſtere voraus; das von C'', C''', C^{IV} herrührende Licht iſt der Phaſe nach, im Vergleiche gegen das von C in g eintreffende, um $\frac{2}{5}T$, $\frac{3}{5}T$, $\frac{4}{5}T$ voraus; dieſe fünf Strahlen heben nun entweder einander auf, oder ſie bringen eine Schwingung des Aetherttheilchens in g hervor, vermöge welcher es in dem genannten Augenblicke in einer gewiſſen Phaſe iſt. Wird letz-

terer Fall als möglich angenommen, ſo kehrt dieſe Phaſe nach der Zeit $\frac{1}{5}$ T wieder zurück. Denn das Licht, welches nach dieſer Zeit von C zu g gelangt, entſpricht einem Fortſchritte in der Schwingung um $\frac{1}{5}$ T, weßwegen ſeine Phaſe jetzt genau die iſt, welche in dem vorigen Zeitpuncte dem von C′ nach g geſendeten Lichte angehörte. Ferner nimmt C′ die frühere Phaſe von C″, C″ jene von C‴, C‴ jene von C^{IV}, endlich C^{IV}, weil wegen des periodiſchen Umlaufes ein Fortſchritt um $\frac{1}{5}$ T in dieſelbe Phaſe führt, wie ein Rückſchritt um $\frac{4}{5}$ T, jene von C an. Es iſt alſo nur die Ordnung, nicht die Größe der Phaſen der fünf interferirenden Lichtſtrahlen geändert, mithin muß das Reſultat der Interferenz das vorige bleiben. Eben ſo kann man zeigen, daß dieſes Reſultat nach dem Verlaufe eines neuen Fünftels der Zeit T wiederkehrt u. ſ. w. Es wäre alſo durch das Zuſammenwirken der genannten Strahlen eine Undulation entſtanden, bei welcher dieſelbe Phaſe wenigſtens nach Verlauf von $\frac{1}{5}$ T wieder kommt, mithin wäre die Undulationsdauer geändert, und wenigſtens auf $\frac{1}{5}$ T herabgeſetzt, alſo die Farbe des Lichtes geändert worden, was obiger Conceſſion widerſpricht. Es bleibt ſomit nur der Fall des Aufhebens der Undulation ſelbſt übrig. Auf dieſelbe Art läßt ſich zeigen, daß ſich die fünf Strahlen, die von anderen aber ähnlich liegenden Puncten in CD, C′D′, C″D″ ꝛc. herkommen, gegenſeitig vernichten. Es herrſcht alſo in g Dunkelheit. Eben entſteht in g′ Dunkelheit, wenn $Cg' - C'g' = \frac{2}{5}L$ iſt, und in g″, wenn $Cg'' = C'g'' = \frac{3}{5}L$ iſt u. ſ. w. Dagegen wird in G volles Licht ſeyn, wenn $CG - C'G = L = \frac{5}{5}L$ iſt, denn da treffen von ähnlich liegenden Puncten der Oeffnungen die Strahlen in einerlei Augenblick in gleichen Phaſen zuſammen, und verſtärken ſich. Eben dasſelbe tritt in G′ ein, wenn $CG' - C'G = 2L$ iſt u. ſ. w. Aber in den Puncten, für welche die Strahlendifferenz in Bezug auf ähnlich liegende Puncte benachbarter Oeffnungen $\frac{6}{5}$ L oder $\frac{7}{5}$ L u. ſ. w. iſt, wird Dunkelheit obwalten. Es werden daher die dunklen Stellen hier durch die Formel $\sin \psi = \frac{qL}{rb}$ gegeben, wobei q eine ganze durch die Anzahl r der Oeffnungen nicht theilbare Zahl, und b den Abſtand der Mittelpuncte zweier nächſten Oeffnungen vorſtellt; den durch die Formel $\sin \psi' = \frac{mL}{b}$, worin m eine ganze Zahl iſt, angezeigten Stellen aber entſprechen Maxima des Lichtes. Vergleicht man die Reſultate dieſer Erklärung mit der Beſchreibung der Beugungsphänomene in 222, 223, ſo zeigt ſich die vollkommenſte Uebereinſtimmung der Theorie mit der Erfahrung.

231. Geht homogenes Licht ſenkrecht durch ein Gitter mit **ſehr vielen** einander nahen gleichen Spalten, deren Abſtände gleich ſind, ſo wird in der Formel $\sin \psi = \frac{qL}{rb}$ für die dunklen Stellen der Spectra der dritten Claſſe $r = \infty$, mithin herrſcht überall Dunkelheit, außer wo die durch die Formel $\sin \psi' = \frac{mL}{b}$ angegebenen lichten Stel-

len hinfallen. Hieraus erklärt ſich das in 224 beſchriebene Phänomen. Dieſes läßt ſich, wenn ψ' genau gemeſſen wird, zur Beſtimmung von L gebrauchen, wie Fraunhofer gethan hat. Man erhält nämlich $L = \frac{b \sin \psi'}{m}$. Auf dieſe Weiſe fand Fraunhofer für die Strahlen nächſt den Stellen C, D, E, F, G, H im Farbenbilde (212) folgende Werthe der Wellenlänge in der Luft in Hunderttauſendtheilen eines Pariſer Zolles.

Wellenlänge für C = 2,422
D = 2,175
E = 1,945
F = 1,794
G = 1,587
H = 1,464.

Die ungemeine Kleinheit der Wellenlängen des Lichtes, im Vergleiche mit deſſen ungeheurer Fortpflanzungsgeſchwindigkeit, läßt auf eine außerordentliche Kleinheit der Schwingungsdauer, mithin auf eine über alle Vorſtellung große Menge von Schwingungen in einer Zeitſecunde ſchließen. Es hängt nämlich die Wellenlänge L mit der Schwingungsdauer T und mit der Fortpflanzungsgeſchwindigkeit V der Wellen durch die Gleichung $L = VT$ zuſammen. Bezieht ſich die Angabe von V auf eine Secunde, wornach auch T durch die Secunde zu meſſen iſt, ſo gibt $\frac{1}{T}$ die Anzahl der Schwingungen N in einer Secunde, mithin iſt $N = \frac{V}{L}$. Nimmt man nun an, für eine gewiſſe Lichtſorte (von gelber Farbe) ſey $L = 0{,}00002$ W. Zoll, und ſchlägt man den Werth von V nur auf 40000 Meilen an, jede zu 4000 Klafter gerechnet, ſo hat man, durch Reduction von V auf Zolle,

$$N = 40000 \,.\, 4000 \,.\, 6 \,.\, 12 \,.\, 100000 : 2 = 576 \,.\, 10^{12}.$$

Es zeigt ſich daher in dieſem Falle die ungeheure Anzahl von 576 Billionen Schwingungen in 1 Sec. Die Schwingungsdauer iſt für rothes Licht größer als für violettes; das rothe Ende des Spectrums iſt daher den tiefſten, das Violette den höchſten Tönen analog. Nach Herſchel variirt die Anzahl der Schwingungen in 1 Sec. vom äußerſten Roth bis zum äußerſten Violett von 458 bis 727 Billionen, ein Intervall, das bedeutend weniger als eine Octave beträgt.

232. Wir haben bisher, der Einfachheit des Falles wegen, ſtets angenommen, daß die Lichtſtrahlen die beugenden Oeffnungen ſenkrecht treffen. Ohne Schwierigkeit läßt ſich die Betrachtung auch auf den Fall ausdehnen, wenn die von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen mit dem Schirme einen ſchiefen Winkel machen. Man hat bloß den Umſtand zu beachten, daß die in der Ebene der Oeffnungen vorhandenen Aethertheilchen in demſelben Augenblicke in verſchiedenen, von der Schiefe der Strahlen abhängenden Phaſen ſich befinden. Die Theorie der Beugung durch Gitter mit Reihen von Oeffnungen, deren Geſtalten und Anordnung welche immer ſeyn mag, läßt ſich auf dem Wege der Undulationstheorie nicht weniger genügend entwickeln, als die oben betrachteten einfachen Fälle; jedoch iſt hiezu eine bloß popu-

läre Vorgangsweiſe nicht hinreichend, ſondern man muß die Rechnung zu Hilfe rufen. Dieſe gibt Reſultate, die nicht bloß mit der Erfahrung auf das Genaueſte harmoniren, ſondern auch auf Einzelnheiten der Phänomene aufmerkſam machen, die ſonſt leicht überſehen würden. Eine vollſtändige und ſorgfältige Behandlung dieſes Gegenſtandes findet man in dem, auch treffliche Winke zur leichten Anſtellung der Verſuche enthaltenden Werke: Die Beugungserſcheinungen aus den Fundamentalgeſetzen der Undulationstheorie analytiſch entwickelt und in Bildern dargeſtellt von F. M. Schwerd. Mannheim, 1835.

233. Die Theorie der Beugung des Lichtes am Rande eines undurchſichtigen Schirmes, oder an beiden Rändern eines ſchmalen Körpers gründet ſich auf die Wirkung eines Wellenſtückes, das ſich nach einer Seite ins Unbeſtimmte ausbreitet und nur nach der andern Seite begrenzt iſt, auf einen Punct. Folgende Betrachtungen mögen hinreichen, zu zeigen, wie dieſe Beugungsphänomene aus der undulirenden Bewegung des Aethers entſpringen, in ſo weit es möglich iſt, davon ohne Anwendung der mathematiſchen Analyſe einen Begriff zu geben. Es ſey AB, Fig. 277, ein normaler Durchſchnitt eines Wellenſtückes, das von einem homogenes Licht gebenden Puncte oder von einer Linie ausgeſendet wird, und von deſſen Krümmung wir abſtrahiren, AC die Normale zum Puncte A nach der Richtung des Fortſchreitens der Welle gezogen, P ein in bedeutender Diſtanz von A angenommener Punct, der ſich jenſeits der AC befinde. Man theile AB in Theile Aa, ab, bc, cd, de u. ſ. w., ſo daß der Unterſchied der Entfernungen der Grenzpuncte eines jeden von P die Hälfte der Wellenlänge des Lichtes beträgt, mithin $aP - AP = \frac{1}{2}L$, $bP - aP = \frac{1}{2}L$, $cP - bP = \frac{1}{2}L$ u. ſ. w. iſt. Die Elementarſtrahlen, welche von den Puncten A, b, d, ... ausgehen, bringen, indem ſie in P zuſammentreffen, übereinſtimmende Phaſen dahin; die von den Puncten a, c, e, ... herrührenden Phaſen aber ſind erſteren gerade entgegengeſetzt. Dasſelbe gilt von ähnlich liegenden Puncten der Stücke Aa, be, de, ... im Vergleiche mit ab, cd, ... Ertheilt nun die Geſammtwirkung aller Puncte des Stückes Aa dem Puncte P eine gewiſſe Phaſe, ſo empfängt er in demſelben Augenblicke von dem Stücke ab eine entgegengeſetzte, aber von geringerer Energie, denn die Ausdehnung des Stückes Aa iſt etwas größer als die des Stückes ab, und erſteres iſt auch dem Puncte P etwas näher als letzteres. Dasſelbe gilt von dem Effecte des Stückes bc im Vergleiche mit dem gleichzeitigen von ab u. ſ. w. Nennen wir nun die Vibrationsintenſitäten des Punctes P, in Folge der gleichzeitigen Geſammtwirkung der Stücke Aa, ab, bc, cd, de ... auf ihn, der Reihe nach $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \ldots$ ſo iſt, wenn I die reſultirende Intenſität der Schwingung von P vorſtellt:

$$I = \alpha - \beta + \gamma - \delta + \varepsilon - \ldots$$

wobei $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \ldots$ eine abnehmende Reihe bilden, deren Glieder zuletzt ganz unmerklich werden. Auch lehrt die Rechnung, daß, wenn P anfänglich in C, und ſodann nach der auf AC ſenkrechten Rich-

tung Cz ſich von AC entfernend gedacht wird (wobei zugleich die Puncte a, b, c, ... ſich entſprechend verſchieben), der Werth von I ununterbrochen fort abnimmt, ein Reſultat, welches übrigens aus der Natur der Sache ſich voraussehen läßt. Alles Geſagte beſteht auch noch, wenn man die von andern Durchſchnitten der Welle AB nach P geſendeten Elementarſtrahlen in die Betrachtung aufnimmt. Iſt daher AH ein Schirm, der bloß das Wellenſtück AB vorbei läßt, mithin Cz der geometriſche Schatten dieſes Schirmes, ſo nimmt die Lichtſtärke von C gegen z hin ſehr raſch ab. Iſt aber AH ein ſehr ſchmaler Körper, ſo daß das von der andern Seite deſſelben in den geometriſchen Schatten einwirkende Licht eine mit der des erſteren vergleichbare Stärke hat, und der Gangunterſchied beider Lichtbündel nicht zu groß iſt, ſo interferiren ſich dieſelben nahe nach dem oben (229) für eine Doppelſpalte gefundenen Geſetze, wobei man die Ränder A und H näherungsweiſe wie die Spalten wirkend betrachten darf. Befindet ſich aber der Punct P dießſeits der AC, Fig. 278, ſo ziehe man von ihm zur Welle die Normale PE, und verbinde P mit A. Iſt der Unterſchied AP — EP kleiner als die Hälfte einer Wellenlänge, ſo fügt das Stück AE zu dem Effecte, den EB in P hervorbringt, etwas hinzu; iſt AP—EP größer als vorhin und kleiner als eine Wellenlänge, ſo wirkt, wenn h in EA ſo angenommen wird, daß $hP - EP = \frac{1}{2}L$ iſt, hB auf P, wie eben geſagt wurde, aber die Action von hA vermindert dieſen Effect. Liegt die Differenz AP — EP zwiſchen L und $\frac{3}{2}L$, ſo iſt der Lichteffect in P wieder größer als im nächſt vorhergehenden Falle. Hieraus ergibt ſich die Folge, daß, wenn AH ein Schirm von bedeutender Breite iſt, die Stärke der Beleuchtung außerhalb ſeines geometriſchen Schattens in CP, durch mehrere abwechſelnd auf einander folgende Maxima und Minima geht, nämlich von C gegen P hin zuerſt wächſt, dann abnimmt, ohne jedoch bis auf Null herab zu ſinken, hierauf wieder wächſt u. ſ. w. Hiedurch ſind die Streifen erklärt, welche man am Rande des Schattens jedes breiten, von einem Puncte beleuchteten Körpers wahrnimmt. Dieſe Streifen finden ſich auch vor, wenn der Körper AH ſchmal iſt, jedoch modificirt das von H auf die andere Seite gelangende Licht dieſelben um ſo mehr, je geringer die Breite AH iſt.

Andere Phänomene, z. B. daß bei Beleuchtung eines kleinen kreisrunden Schirmes durch einen Lichtpunct die Mitte ſeines Schattens eben ſo hell iſt, als wenn der Schirm nicht da wäre u. dgl., beſtätigen die Richtigkeit der Theorie um ſo mehr, als ſie durch ſelbe vorausgeſagt und erſt hinterher durch Verſuche nachgewieſen worden ſind. Ueber die Beugung des Lichtes an den Rändern der Körper ſ. Fresnel in Pogg. Ann. 30. 100.

234. Die hier nach den Principien der Undulationstheorie vorgetragene Erklärung der Erſcheinungen der Beugung des Lichtes läßt uns nun auch einſehen, was es mit der ſogenannten geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes für eine Bewandtniß habe. Im Allgemeinen findet ſie, wie die Beugungsphänomene lehren, nicht Statt;

denn der durch eine enge Spalte hindurch von einem Puncte beleuchtete Raum iſt größer, als er dieſer Fortpflanzungsweiſe des Lichtes gemäß ſeyn ſollte, und die Durchſchnitttspuncte der Streifen einer gewiſſen Ordnung mit einer auf die Spalte ſenkrechten Ebene liegen, weil die Differenz ihrer Abſtände von den Rändern der Oeffnung conſtant bleibt, in einer Hyperbel, deren Brennpuncte in dieſen Rändern ihren Sitz haben. Wo die geradlinige Lichtfortpflanzung Statt hat, geht ſie aus dem Umſtande hervor, daß ſich alles Seitenlicht durch Interferenz zerſtört. Je weiter man eine Spalte öffnet, die das von einem Puncte ausfahrende Licht theilweiſe aufhält, deſto mehr rücken die Beugungsſpectra, deren äußerſte eine verſchwindende Intenſität haben, an einander, und ſämmtliche Spectra werden bei zu großer Oeffnung endlich unmerklich. Hindert man einen Theil der einander aufhebenden Strahlen zu den übrigen zu kommen, ſo bleiben dieſe wirkſam, ein Umſtand, der den Zuſammenhang zwiſchen Beugung und geradliniger Fortpflanzung des Lichtes klar darlegt.

Aus den angeführten Beugungsgeſetzen erklären ſich mehrere Erſcheinungen. Z. B. die Farben, welche man bemerkt, wenn man durch den dünnen Theil des Bartes einer Vogelfeder, durch enge gewebtes Zeug, oder durch ein mit Hexenmehl beſtreutes Glas auf einen nicht zu nahen, ſtark beleuchteten Punct ſieht; das Farbenſpiel an den feinen Haaren der Hüte, wenn man durch ſie nach der Sonne blickt; die Farbenringe um den dunklen Mondeskörper bei totalen Mondesfinſterniſſen; die dunklen Streifen, welche man zwiſchen den eng an einander geſchloſſenen geſtreckten Fingern ſieht ꝛc.

Drittes Kapitel.

Reflexion des Lichtes.

235. Iſt MN (Fig. 279) die tangirende Ebene der Trennungsfläche zweier ungleichartigen Mittel, B der Berührungspunct, den der Strahl AB trifft, ferner BC ſenkrecht auf der Ebene MN, und BD die Richtung des reflectirten Strahles; ſo heißt B der Einfallspunct, BC das Einfallsloth des Strahles AB, eine Ebene durch AB und BC die Einfallsebene, ABC der Einfallswinkel, CBD der Reflexionswinkel. Dieſem nach geſchieht die Reflexion des Lichtes immer nach den Geſetzen: 1) Daß der reflectirte Strahl in der Einfallsebene liegt; 2) daß der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich iſt.

Von der Richtigkeit dieſer Geſetze überzeugt man ſich, wenn man einen Lichtſtrahl durch eine ſehr kleine Oeffnung in ein verfinſtertes Zimmer leitet, ihn auf eine wohl polirte Fläche auffallen läßt, und mittelſt eines genauen Inſtrumentes den Einfallswinkel mit dem Reflexionswinkel vergleicht.

236. Wendet man dieſe Grundgeſetze der Reflexion des Lichtes auf Spiegel von verſchiedener Geſtalt an, ſo findet man immer die

Richtung der Lichtſtrahlen nach der Reflexion, mithin den Ort, wo ſie herkommen oder herzukommen ſcheinen, daher auch die Lage des Bildes, das ſie erzeugen, und deſſen Beſchaffenheit. Mit den ſo gefundenen Reſultaten ſtimmt die Erfahrung auf das Genaueſte überein, und liefert hiedurch einen ferneren Beweis für die Richtigkeit der eben erwähnten Reflexionsgeſetze. Um dieß an einem ſchlagenden Beiſpiele zu zeigen, ſey MN, Fig. 280, ein ebener Spiegel, A ein Punct, der die Lichtſtrahlen AH, AK, AL darauf ſendet, von denen AH auf MN ſenkrecht ſteht. Man findet die Richtung der reflectirten Strahlen KO und LO′, wenn man in den Einfallspuncten K und L die Einfallslothe KE und LF errichtet, und EKO = EKA, FLO′ = FLA macht. Der Strahl AH wird offenbar in ſeiner eigenen Richtung zurückgeworfen, er heißt der Hauptſtrahl, und wird in ſeiner Verlängerung Ax von den verlängerten Strahlen OK und OL geſchnitten. Dieſes mag von erſterem in A′, von letzterem in A″ geſchehen. Da iſt nun wegen HK = HK, AHK = A′HK und AKM = NKO = A′KM das Dreieck HKA mit dem Dreieck HKA′ congruent, und deßhalb AH = A′H. Aus gleichen Gründen findet man AH = A″H, woraus dann folgt: A′H = A″H, d. h. alle reflectirten Strahlen ſcheinen von einem Puncte des Hauptſtrahles hinter dem Spiegel herzukommen, der eben ſo weit hinter der Spiegelfläche liegt, als der leuchtende Punct ſich vor derſelben befindet. An dieſer Stelle erſcheint daher dem Auge das Bild des leuchtenden Punctes.

237. Der Hergang der Reflexion des Lichtes findet in der Undulationstheorie ſeine vollſte Erklärung. Es ſey A, Fig. 281, ein leuchtender Punct, von welchem Lichtſtrahlen AB, AB′ u. ſ. w. auf die Trennungsfläche MN zweier Mittel fallen. Die in MN liegenden Aethertheilchen werden hiedurch erſchüttert. Da ſie aber nicht wie die das Licht längs AB, AB′ fortpflanzenden Aethertheilchen ausweichen, indem ſie durch andere Kräfte, wie jene beherrſcht werden, ſo wirken ſie ſowohl auf das Medium, in welchem ſich das Licht urſprünglich bewegt hat, wie auch auf das jenſeits MN befindliche Mittel, und erzeugen dadurch, gleichſam wie eine ſelbſtſtändige Lichtquelle, neue Wellen. Die in das urſprüngliche Mittel zurückſchreitenden Wellen, welche wir für jetzt allein betrachten, begründen das reflectirte Licht. Gleich wie ſich in dem erſten Mittel um A eine Fläche denken läßt, zu deren Puncten die von A ausgehenden Erſchütterungen gleichzeitig gelangen, und die, wenn man dieſelbe Reihe gleichzeitiger Vibrationen weiter verfolgt, ſich fortwährend ausbreitet, ihren früheren Formen ſtets ähnlich bleibend, welche Fläche wir Wellenfläche nennen; eben ſo läßt ſich auch für das reflectirte Licht eine Wellenfläche denken, als geometriſcher Ort der gleichzeitigen Ankunft der Vibrationen. Um dieſelbe conſtruiren, insbeſondere um zu jedem gegebenen einfallenden Strahle den durch Reflexion entſtehenden angeben zu können, wenden wir das in 218 angedeutete allgemeine Princip ſo an, wie es in der directen Fortſchreitung des Lichtes in einem homogenen Mittel ſich zu erkennen gibt. Sind a, b, c, d .... in der Fläche MN liegende Aether-

theilchen, ſo werden dieſelben von jeder Vibration des Punctes A im Allgemeinen in verſchiedenen Zeiten τ, τ', τ'', τ''', ... erreicht. Iſt die reflectirte Welle für das Ende der Zeit t anzugeben, wobei t größer gedacht wird, als τ, τ', τ'', ... ſo ſehe man die Puncte a, b, c, d, ... als ſelbſtſtändige Mittelpuncte der Undulationen an, und conſtruire um a herum die Wellenfläche mit den Dimenſionen, die ihr nach Verlauf der Zeit $t-\tau$ von ihrem Urſprunge an gerechnet zukommen; eben ſo beſchreibe man für b, c, d, ... die Wellenflächen hinſichtlich der Fortpflanzungszeiten $t-\tau'$, $t-\tau''$, $t-\tau'''$ ... u. ſ. w. Denkt man ſich jetzt die Puncte a, b, c, d, ... einander unendlich nahe, ſo bilden die zwiſchen den Durchſchnitten der dicht an einander gereihten Wellenflächen liegenden Stücke wie m n, n p ꝛc. eine Fläche P Q, von der die erſteren Flächen ſämmtlich berührt werden, und dieſe iſt keine andere, als die allem reflectirten Lichte entſprechende Wellenfläche ſelbſt. Hiebei ſind die Geraden a m, b n, c p, ... die durch Reflexion der Lichtſtrahlen A a, A b, A c, ... entſtandenen. Die Poſition des Punctes m auf P Q wird, unter der Vorausſetzung, daß a b unendlich klein iſt, durch die Bedingung beſtimmt, daß A a + a m und A b + b m von jeder Undulation des Punctes A in einerlei Zeit zurückgelegt werden. Hiezu können wir noch die Bemerkung fügen, daß die von a, b, c, d, ... ausgehenden Vibrationen einander in m, n, p, ... wegen der Gleichheit der Phaſen, mit denen ſie daſelbſt ankommen, unterſtützen (obgleich in einerlei Augenblick a, b, c, d, ... verſchiedene Phaſen zeigen), dagegen die von eben dieſen Mittelpuncten ſeitwärts geſendeten Vibrationen einander durch Interferenz aufheben. Denn wenn wir auch ohne nähere Beſtimmung der Beſchaffenheit des einfallenden Strahles, ſeiner Lage, und der Natur der an einander grenzenden Mittel über die Art der von der Trennungsfläche in beide ausgehenden Schwingungen nichts auszuſagen vermögen; ſo iſt es doch gewiß, daß, wenn zwiſchen zwei unmittelbar von A ausgegangenen und in MN eintreffenden Erſchütterungen ein Phaſenunterſchied beſteht, die Schwingungen, welche von den erſchütterten Puncten in M N ausgehen und irgendwo zuſammentreffen, dieſelbe Phaſendifferenz zeigen. Uebrigens liegt es außerhalb der Grenzen dieſes Lehrvortrages, das Problem der Reflexion und Brechung des Lichtes nach ſeinem ganzen Umfange abzuhandeln; für den Augenblick beſchränken wir uns auf den Fall, wenn das Medium, worin die Reflexion des Lichtes vor ſich geht, das Licht nach allen Richtungen mit gleicher Geſchwindigkeit fortpflanzt und die reflectirende Fläche eine Ebene iſt. In Bezug auf dieſen Fall haben wir aber nur zu wiederholen, was bereits im erſten Theile (369) gelehrt wurde. Es erzeugt nämlich, wie die am angeführten Orte gegebene Deduction nachweiſet, eine ſphäriſche Welle durch Reflexion an einer Ebene eine zweite ſphäriſche Welle, deren Mittelpunct A′ ſo liegt, daß die von ihm zum Mittelpuncte A der directen Welle gehende gerade Linie auf der reflectirenden Ebene ſenkrecht ſteht und durch ſelbe halbirt wird. Wie man ſieht, ſtimmt dieſe Folgerung mit derjenigen, zu welcher die in 236 angeſtellte Betrachtung führte, ganz überein.

238. Denkt man ſich die reflectirende Fläche MN, Fig. 281, als einen ſehr ſchmalen Streifen, ſo ſind nicht hinreichend viele Puncte a, b, c, d, ... in derſelben vorhanden, um die Seitenbewegung des Lichtes vollſtändig aufzuheben. Dann muß alſo ein Beugungsphänomen eintreten, gerade ſo, als ob das Licht von dem Puncte A' durch eine ſehr ſchmale, der MN an Ausdehnung gleiche Spalte gegangen wäre. Dieſe Bemerkung, die ſich in der Erfahrung beſtätiget, iſt vorzüglich geeignet, die Nothwendigkeit des Interferenzprincips zur Begründung einer richtigen Erklärung der Reflexion erſichtlich zu machen.

Daher war die Erklärung, die der große Mathematiker Huyghens, der wahre Urheber der Undulationstheorie, von der Reflexion, wie auch von der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes gab, worin er die Elementarwellen, welche die wirkſame Welle zuſammenſetzen, bloß ihrer geringen Intenſität wegen als unmerklich, letztere dagegen als den Inbegriff unendlich vieler coincidirenden Vibrationen allein als merklich betrachtete, noch unvollſtändig. Erſt das von Fresnel in die Erklärung verflochtene Princip der Interferenz, vermöge welcher die Seitenbewegung wegfällt, vervollſtändigte die Deduction. Nach der älteren Weiſe wurde lediglich die Wirkung einer einzigen Erſchütterung des Mediums in das Auge gefaßt; die neuere Theorie nimmt eine Fortdauer des Bewegungszuſtandes an, wodurch es möglich wird, daß nach der Reflexion Wellen, die von der Lichtquelle ſpäter ausgingen, auf frühere einwirken, und alles Licht, jenes, welches in der Richtung des reflectirten Strahles beſteht, ausgenommen, ſich tilgt. Die Emanationshypotheſe, welche die Erſcheinungen des Lichtes auf die Bewegung äußerſt feiner materiellen Partikel zurückzuführen ſtrebt, gibt die Erklärung der Reflexion folgendermaßen: Von den reflectirenden Körpern geht eine Kraft aus, welche auf die Lichttheilchen abſtoßend wirkt. Jedoch kann dieſe nicht erſt beginnen, wenn das Licht die reflectirende Ebene berührt, weil ſonſt die Erhöhungen und Vertiefungen, die ſich auch an den möglichſt polirten Oberflächen befinden, und gegen die Feinheit des Lichtes unendlich groß ſind, zur Folge haben müßten, daß eine Reflexion nach allen Seiten erfolgen müßte, und nicht in der Ordnung, wie das Licht auffällt, welches doch bei den Spiegeln der Fall iſt. Die Wirkungsſphäre dieſer Kraft muß aber doch ſehr klein ſeyn, weil der Erfahrung gemäß ein Strahl von den Theilen, die in einer merklichen Entfernung vom Einfallspuncte liegen, gar keine Einwirkung erfährt. Denkt man ſich nun die Geſchwindigkeit eines ſchief auf eine reflectirende Fläche einfallenden Strahles in eine auf dieſe Fläche ſenkrechte (normale) und in eine mit dieſer parallele aufgelöſet, ſo wird nur erſtere durch die abſtoßende Kraft des Mittels verringert, letztere aber gar nicht afficirt. Deßhalb beſchreibt der Strahl von dem Augenblicke an, wo er in die Wirkungsſphäre des Mittels eintritt, eine krumme, gegen das Mittel convexe Bahn. Sobald die ganze normale Geſchwindigkeit aufgehoben iſt, bewirkt die abſtoßende Kraft eine der normalen Geſchwindigkeit des Lichtes entgegengeſetzte, und dieſe mit der übrig gebliebenen parallelen Geſchwindigkeit zuſammengeſetzt, gibt eine der vorher genannten gleiche krumme Bahn für das Licht, und am Puncte, wo dasſelbe die Wirkungsſphäre des Mittels verläßt, fährt es nach der Tangente dieſer Curve fort, und bildet ſo den reflectirten Strahl.

239. Radirt man auf ein polirtes Stahlplättchen oder auf ein mit Gold belegtes Planglas ein feines Gitter, und legt es ſo, daß das von demſelben reflectirte Licht entweder unmittelbar oder durch ein Fernrohr ins Auge kommt; ſo gewahrt man alle Erſcheinungen, die im directen Lichte bei demſelben Gitter bemerkt werden. Die einzelnen Farbenbilder und ihre Abſtände von der Axe ſind deſto größer, je ſchiefer das Licht einfällt.

Die Beugungsgeſetze reflectirter Strahlen ſind für die Erklärung häufig vorkommender Erſcheinungen faſt noch fruchtbarer, als jene der an den Rändern der Körper bloß vorbeigehenden. Man erklärt daraus das lebhafte Farbenſpiel des Barton'ſchen Irisſchmuckes, ja ſelbſt das bekannte Farbenſpiel der Perlmutter; denn Brewſter überzeugte ſich, daß die Oberfläche derſelben ſehr viele, feine, regelmäßige Furchen habe, daß man dieſe iriſirende Eigenſchaft anderen weichen Subſtanzen, z. B. Siegellack, arabiſchem Gummi, Stanniolium, ſelbſt Blei mittheilen kann, indem man ein Plättchen Perlmutter darauf abdrückt; er bemerkte dieſelbe Lichterſcheinung auch an der Oberfläche einer ſtark eingekochten Gallerte aus Kalbsfüßen. Zu dieſen Erſcheinungen gehört auch das Farbenſpiel der Flügeldecken einiger Inſecten, das Schillern abgeſtandener Gläſer, vieler Färbeſtoffe, z. B. des trockenen Waides, die Lichtſtreifen an dem Bilde einer Kerzenflamme in manchem Planſpiegel ꝛc.

240. Befindet ſich vor einem Planſpiegel ein leuchtender Gegenſtand, ſo muß dem oben erklärten Geſetze gemäß das Bild jedes einzelnen Punctes in der Verlängerung der von demſelben auf die Spiegelfläche gezogenen Senkrechten erſcheinen, eben ſo weit hinter dem Spiegel, als jener Punct vor dem Spiegel ſteht. Die Bilder aller dieſer Puncte zuſammen geben das des Gegenſtandes. Man ſieht wohl leicht ein, daß dieſes Bild die Stellung und Größe des abgebildeten Gegenſtandes haben, und daß es an allen Bewegungen deſſelben Theil nehmen werde. Macht eine gerade Linie am Gegenſtande mit dem Spiegel einen Winkel von 45°, ſo macht dieſe mit der ihr entſprechenden Linie an dem Bilde einen rechten Winkel; ſteht aber ein Gegenſtand auf dem Spiegel ſenkrecht, ſo hat ſein Bild gerade die entgegengeſetzte Lage. Ein beſtimmter Punct eines Gegenſtandes wird mittelſt eines ebenen Spiegels nur dann geſehen, wenn die vom Auge nach dem Bilde dieſes Punctes gezogene gerade Linie die ſpiegelnde Fläche durchſchneidet. Der Durchſchnittspunct gibt die Stelle des Spiegels an, von welcher die von genanntem Puncte ausgehenden Strahlen in das Auge geſendet werden. Es läßt ſich leicht zeigen, daß ein verticaler Spiegel, in welchem ein aufrecht ſtehender Menſch ſein Bild ganz überſehen ſoll, wenigſtens die Hälfte der Höhe und Breite des Körpers deſſelben haben, und bei dem angegebenen Minimum der Dimenſionen ſich in einer beſtimmten Stellung befinden müſſe. Wird ein Spiegel bewegt, während der Gegenſtand in Ruhe bleibt, ſo beträgt die Bewegung des Bildes das Doppelte jener des Spiegels. Auf den Geſetzen der Lichtreflexion an Planſpiegeln beruhen mehrere wichtige phyſikaliſche Inſtrumente und Verſuche, wie z. B. der Helioſtat, der Heliotrop,

die verſchiedenen Reflexionsgoniometer, der Spiegelſextant (Octant, Kreis), Wheatſtone's rotirender Spiegel (96) ꝛc.

Der Helioſtat iſt ein Planſpiegel, den man mit einem Uhrwerke in Verbindung ſetzen und dadurch ſo bewegen kann, daß die darauf fallenden Sonnenſtrahlen, ungeachtet der Bewegung der Sonne, immer nach derſelben Richtung reflectirt werden (Pogg. Ann. 17. 71).

Gauß's Heliotrop beſteht aus zwei auf einander ſenkrechten, mit einem Fernrohre verbundenen Planſpiegeln, deren einer dazu dient, das Sonnenlicht nach einem beſtimmten, weit entfernten Puncte hinzuwerfen, ſo daß man daſelbſt den Spiegel hell erleuchtet ſieht, der andere aber, um dem erſteren die zu ſeinem Zwecke nöthige Stellung zu geben. Es werden nämlich die Sonnenſtrahlen, welche auf dieſe Spiegel fallen, weil die Ebenen letzterer einen rechten Winkel bilden, nach parallelen und entgegengeſetzten Richtungen reflectirt, ſo, daß wenn man das Bild der Sonne mittelſt des einen Spiegels an einem Orte ſieht, die von dem andern Spiegel reflectirten Sonnenſtrahlen nach dieſem Orte gehen.

Die Reflexionsgoniometer ſind Inſtrumente, mittelſt welchen man die ebenen Winkel der Kryſtalle durch reflectirtes Licht mißt. Sie beruhen im Allgemeinen darauf, daß, wenn eine Kryſtallfläche Licht in beſtimmter Richtung reflectirt, das von einer andern Fläche zurückgeworfene Licht nur dann genau dieſelbe Richtung haben wird, wenn dieſe Fläche genau in die Lage der erſteren gebracht worden iſt. Wird demnach die Richtung beobachtet, in welcher Licht von einer der zwei Kryſtallflächen, deren Neigung φ man wiſſen will, reflectirt wird, und dann der Kryſtall ſo weit um die betreffende Kante gedreht, bis das von der zweiten Fläche zurückgeworfene Licht dieſelbe Richtung hat, ſo weiß man, daß dieſer Drehungswinkel $= 180^\circ - \varphi$ iſt, und hat man dieſen gemeſſen, ſo iſt auch φ gefunden. Das brauchbarſte Inſtrument dieſer Art hat Wollaſton angegeben (Gilb. 37. 357; 49. 191). Mohs hat es ſehr zweckmäßig abgeändert.

Der Spiegelſextant dient zur Meſſung des Winkels, den die vom Auge nach zwei entfernten Puncten gehenden geraden Linien einſchließen. Er beſteht aus einem in Grade getheilten Bogen von 60°, auf deſſen Ebene ein fixer, nur zur Hälfte belegter Glasſpiegel A und in deſſen Mittelpunct ein um denſelben beweglicher, ganz belegter Spiegel B aufgeſtellt iſt. Die ſpiegelnde Fläche des erſteren iſt dem Auge zugekehrt, welches durch den unbelegten Theil deſſelben nach entfernten Gegenſtänden ſehen kann; der zweite kehrt ſeine ſpiegelnde Fläche den Gegenſtänden zu, auf welche ſich die Winkelmeſſung bezieht, und ſendet nach Verſchiedenheit ſeiner Stellung die von denſelben ausgehenden Strahlen auf den Spiegel A, die dann von dieſem durch abermalige Reflexion ins Auge gelangen. Stellt man den beweglichen Spiegel B ſo, daß man einen entfernten Gegenſtand durch den unbelegten und im belegten Theile von A ſo ſieht, als wäre der ganze Spiegel A unbelegt (in welchem Falle die Ebenen von A und B einander parallel ſind), und wendet dann B dergeſtalt, daß das Bild eines zweiten Gegenſtandes mit dem durch den unbelegten Teil von A geſehenen erſten Gegenſtande coincidirt, ſo gibt das Doppelte des Winkels, um welchen B gedreht wurde, welchen man mittelſt eines mit B feſt verbundenen Lineals am Gradbogen ablieſt, den Winkel der nach beiden Gegenſtänden gezogenen Linien an. Mit einem Sextanten kann man unmittelbar nur Winkel meſſen, die 120° nicht überſchreiten; ein Spiegelkreis geſtattet auch die Meſſung größerer Winkel.

Wheatſtone's Anwendung eines um eine Axe ſich drehenden Planſpiegels zur Beſtimmung der Geſchwindigkeit der Elektricität,

wie dieß in 96 erklärt wurde, gründet ſich auf folgenden Satz: Es ſey M N (Fig. 282) ein Planſpiegel, A B der einfallende Strahl, B O der reflectirte. Der Spiegel komme in die Lage M′ N′, ſo daß er um den Winkel M B M′ von ſeiner früheren Poſition abweicht, ſo wird jetzt B O′ die Richtung des reflectirten Strahles werden und dabei iſt W. O B O′ = 2 M B M′. Denn es iſt W. N B O = M B A, N′B O′ = M′B A, mithin

$$N B O - N' B O' = M B A - M' B A, \text{ d. h. } O B O' - N B N' = M B M',$$

oder wegen N B N′ = M B M′, O B O′ = 2 M B M′. Dadurch iſt die am angeführten Orte gemachte Berechnung begründet.

Das Zauberperſpectiv, der Opern- und Wallgucker beruhen auch auf den Geſetzen der Reflexion des Lichtes, haben aber bis jetzt keine ernſte Anwendung gefunden.

241. Wenn die von einem Spiegel reflectirten Strahlen auf einen zweiten Spiegel auffallen, ſo werden ſie natürlich ſo von ihm zurückgeworfen, als wenn ſie von einem Gegenſtande kämen, der ſich an der Stelle des Bildes im erſten Spiegel befindet; dasſelbe geſchieht mit den vom zweiten Spiegel reflectirten Strahlen, wenn ſie auf einen dritten auffallen, und ſo fort. Steht daher ein Gegenſtand zwiſchen zwei parallelen Spiegeln, ſo entſteht von ihm durch wiederholte Reflexionen eine unendliche Anzahl Bilder, wovon aber nur die erſteren eine ſolche Lichtſtärke haben, daß ſie geſehen werden können. Sind die Ebenen der Spiegel gegen einander geneigt, ſo geben ſie von einem dazwiſchen ſtehenden Gegenſtande nur eine endliche Anzahl Bilder: denn damit die von dem einen Spiegel reflectirten Strahlen im andern ein Bild geben, muß das Bild im erſtgenannten Spiegel auf derſelben Seite liegen, welcher die ſpiegelnde Fläche des andern zugekehrt iſt, eine Bedingung, welche nur (n — 1)mal Statt findet, wenn der Neigungswinkel der Spiegel $\frac{360}{n}$ Grade enthält. Deßhalb geben ſolche Winkelſpiegel von einem Gegenſtande auch nur (n — 1) Bilder. Dieſe erſcheinen ſymmetriſch rings um die Axe der Spiegel, und gewähren nicht ſelten einen ſehr überraſchenden Anblick, den man ſich durch eine artige Vorrichtung, nämlich durch das ſogenannte Kaleidoſkop (Gilb. Ann. 59. 341) verſchaffen kann.

242. Auf den Gebrauch der Planſpiegel gründet ſich ein directer Beweis, den Fresnel für die Realität der Interferenz des Lichtes gegeben hat, bei welchem zur Entfernung jedes Zweifels ungebeugtes Licht ſich gegenſeitig vernichtet. Damit nämlich eine ſolche Interferenz zu Stande komme, müſſen, wie eine leichte Ueberlegung lehrt, die Lichtſtrahlen von einerlei Lichtquellen kommen, unter einem ſehr ſpitzigen Winkel zuſammentreffen, und ihre Wegdifferenz darf nicht bedeutend ſeyn. Dieſen Bedingungen genügt man, wenn man von einem leuchtenden Puncte auf zwei unter einem ſehr ſtumpfen Winkel gegen einander geneigte Spiegel Strahlen fallen läßt. Die nach der Reflexion einander durchkreuzenden Strahlen bringen ein Interferenzphänomen hervor, welches man wahrnimmt, wenn man das mit einem Vergrößerungsglaſe verſehene Auge in einiger Entfernung vor die Durchſchnittslinie der Spiegelflächen bringt, und gegen die Mitte der Ver-

bindungslinie der zwei Bilder des leuchtenden Punctes hinſieht, die durch die Spiegel erzeugt werden. Man erblickt da im weißen Lichte eine Reihe heller Streifen, die mit der Durchſchnittslinie der Spiegelflächen parallel laufen, und zwiſchen welchen, in nahe gleichen Abſtänden von einander, ſich Linien befinden, wovon die mittleren ſcharf begrenzt und dunkel, die entfernteren aber minder ſcharf begrenzt und farbig erſcheinen, und immer heller werdend ſich allmälig in dem lichten Grunde des Phänomens verlierem. Im homogenen Lichte iſt die Anzahl der dunklen Linien weit beträchtlicher als im weißen, und die der Mitte nahe ſtehenden ſind intenſiv ſchwarz; ändert man die Farbe des Lichtes, vom rothen gegen das violette fortſchreitend, ſo rücken die dunklen Linien immer näher an einander; ihre Abſtände ſind bei rothem Lichte faſt noch einmal ſo groß, als bei violettem. Hiernach erklärt ſich die Beſchaffenheit der Erſcheinung im weißen Lichte von ſelbſt; dieſe iſt nämlich das Reſultat der Uebereinanderlagerung der Erſcheinungen, welche die einzelnen farbigen Lichtſorten, die im weißen Lichte enthalten ſind, für ſich hervorbringen würden; in der Mitte kommt Licht von allen Farben zuſammen und erzeugt den weißen Streifen, den man da ſieht; zu beiden Seiten deſſelben fallen auch die benachbarten dunklen Linien der intenſivſten Farben nahe an einander; in einiger Entfernung dagegen mengen ſich die hellen und dunklen Theile der verſchiedenen Farben dergeſtalt, daß die Undeutlichkeit immer größer wird, und man keine Abſtufungen der Lichtſtärke und keine Färbung mehr gewahr wird. Unter übrigens gleichen Umſtänden nimmt die Breite der Streifen zu, wenn der Winkel der Spiegel ſtumpfer wird; eben ſo, wenn der Beobachter ſich von den Spiegeln entfernt. In jeder Hinſicht, ſowohl dem Erfolge, wie auch der Erklärung nach, ſtimmt das hier beſchriebene Phänomen mit demjenigen überein, welches die Beugung des von einem leuchtenden Puncte ausgehenden Lichtes an zwei neben einander befindlichen engen Spalten in der Mitte des Geſichtsfeldes gewährt, wenn die ſcheinbare Entfernung der Spalten von einander der ſcheinbaren Diſtanz der Bilder des leuchtenden Punctes bei dem Verſuche mit den Spiegeln gleich kommt, und die Beobachtung ebenfalls mittelſt des Vergrößerungsglaſes geſchieht.

Die zu dieſem Verſuche dienenden Spiegel ſollen, wenn auch nicht aus Metall, doch wenigſtens aus ſchwarzem Glaſe verfertiget ſeyn; indeſſen kann man ſich auch mit geſchwärzten Glasplatten behelfen, wenn nur die ſpiegelnden Flächen gehörig eben ſind. Um den Verſuch mit Bequemlichkeit und Sicherheit des Erfolges anſtellen zu können, müſſen ſich die Spiegel in einer Faſſung befinden, die den Neigungswinkel derſelben ein wenig zu ändern geſtattet. Da die Kanten, mittelſt welcher die Spiegel an einander grenzen, ſtets gut an einander paſſen müſſen, ſo iſt nebſt einer Vorrichtung zur Regulirung der Kanten auch noch erforderlich, daß die Drehungsaxe des Spiegels, der zum Behufe der Aenderung des Winkels bewegt wird, genau mit ſeiner Kante zuſammenfalle, damit dieſe Kante während der Drehung des Spiegels nicht vor oder hinter die Kante des andern trete. Bringt man die beiden Spiegelflächen zuerſt genau in eine Ebene, was man erreicht hat, wenn ſie wie ein einziger Spiegel wirken, mithin keine Spur

einer Verdoppelung der Bilder zu bemerken iſt, ſo darf man nur den einen Spiegel äußerſt wenig gegen den andern neigen, um eine brauchbare Stellung der Spiegel zu erhalten. Ueberdieß iſt es räthlich, den Einfluß jeder Veränderung, die man an der Stellung der Spiegel vornimmt, auf das Phänomen ſogleich mittelſt des Vergrößerungsglaſes zu prüfen, wodurch man die Handgriffe, die zur Erzielung der höchſten Reinheit nöthig ſind, am beſten kennen lernt. Als leuchtender Punct kann, zumal wenn die Beobachtung, wie es bei Meſſungen nöthig iſt, längere Zeit dauern ſoll, das Sonnenbild im Brennpuncte einer mikroſkopiſchen Linſe dienen, der man mittelſt eines Spiegels Licht zuſendet. Der Umſtand, daß die Interferenzlinien der Durchſchnittslinie der Spiegelflächen parallel ſind, geſtattet, ſtatt eines leuchtenden Punctes, eine dieſer Durchſchnittslinie parallele leuchtende Linie anzuwenden. Die von jedem Puncte erzeugten Linien fallen in einander und verſtärken ſich wechſelſeitig. Hiedurch erhält man nicht nur mittelſt Kerzen- oder Lampenlichtes eine ſehr deutliche Darſtellung des Interferenzphänomens, ſondern man iſt auch im Stande, bei Anwendung des Sonnenlichtes, daſſelbe auf eine weiße Tafel mit der größten Schärfe zu projiciren. Jedenfalls iſt es vortheilhaft, das Licht ſehr ſchief auf die Spiegel fallen zu laſſen. Will man dieſes Phänomen in homogenem Lichte betrachten, ſo zerlege man das mittelſt eines Helioſtates durch eine Spalte am Fenſterladen geleitete Licht mit Hülfe eines Prisma's, und fange das Farbenbild mit einem Schirme auf, an welchem ſich eine ſchmale Spalte befindet, die nur Strahlen von einer beſtimmten Farbe auf die Spiegel gelangen läßt. Um jedoch das Beugungsphänomen, welches letztere Spalte erzeugt, wegzuſchaffen, iſt es gut, vor dieſelbe ein cylindriſches Sammelglas zu ſetzen. Auch die Durchkreuzung directer Lichtſtrahlen mit reflectirten bringt Interferenz hervor. Iſt nämlich S ein leuchtender Punct oder eine leuchtende Linie, wovon ein Strahl SH, Fig. 283, ſehr ſchief auf den geſchwärzten Spiegel MN fällt und nach HI reflectirt wird, ſo durchkreuzt derſelbe jeden vor dem Spiegel vorbeigehenden Strahl SI, und modificirt deſſen Intenſität. Das Interferenzphänomen läßt ſich gut mittelſt eines ſtark vergrößernden Glaſes beobachten, das man dem Spiegel gehörig nahe bringt. (Lloyd in Pogg. 45. 95.)

243. Die ſphäriſch gekrümmten Spiegel ſind entweder Concav- oder Convexſpiegel, je nachdem die hohle oder die erhabene Seite ſpiegelt. Es ſey MN (Fig. 284) der Durchſchnitt eines ſphäriſchen Hohlſpiegels, mit einer durch den Mittelpunct C ſeiner Krümmung gelegten Ebene. Iſt A ein leuchtender Punct vor dem Spiegel in dieſer Ebene, ſo wird er einen Lichtkegel auf ihn ſenden, wovon hier nur zwei Strahlen betrachtet werden ſollen, nämlich der durch den Mittelpunct C gehende ACD, und ein anderer AE. Da das Einfallsloth auf D der Halbmeſſer CD iſt, ſo muß ACD nach DCA zurückgeworfen werden; dieſen in ſich ſelbſt zurückkehrenden Strahl nennt man den Hauptſtrahl des Punctes A. Der andere Strahl AE, zu dem das Einfallsloth EC gehört, bekommt durch Reflexion die Richtung EF, welche durch den Winkel CEF = CEA beſtimmt wird. Die Lage des reflectirten Strahles EF gegen den Hauptſtrahl AD findet man, in der Vorausſetzung, daß die Dimenſionen des von den Strahlen getroffenen Stückes der ſpiegelnden Fläche gegen den Halbmeſſer derſelben ſehr klein ſind, mithin der Winkel DCE

ſehr klein iſt, auf folgende Weiſe: Es ſey $CD = 2p$, $AD = a$, $FD = \alpha$. Da der Winkel AEF durch EC halbirt wird, ſo hat man im Dreiecke AEF

$$AE : FE = AC : CF.$$

Aber man kann, wegen der Kleinheit des Winkels DCE, ohne merklichen Fehler AE und AD, ferner FE und FD als gleiche Linien behandeln, mithin auch $AE = a$ und $FE = \alpha$ ſetzen; dem gemäß gibt dieſe Proportion

$$a : \alpha = a - 2p : 2p - \alpha,$$

mithin

$$a(2p - \alpha) = \alpha(a - 2p), \text{ oder } ap + \alpha p = a\alpha,$$

woraus durch Diviſion mit $ap\alpha$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} \text{ folgt.}$$

Dieſer Gleichung gemäß iſt

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a} \text{ und } \alpha = \frac{ap}{a - p}.$$

244. Aus dieſer Gleichung leitet man leicht folgende, jedoch nur unter obiger Vorausſetzung geltende Geſetze für ſphäriſche Hohlſpiegel ab: 1) Für $a = \infty$ iſt $\alpha = p$, d. i. Strahlen, die von einem unendlich weit entfernten Puncte auf den Hohlſpiegel auffallen, mithin parallel ſind, vereinigen ſich nach der Reflexion im Hauptſtrahle in einer dem halben Radius gleichen Entfernung vom Spiegel. Dieſer Vereinigungspunct paralleler Strahlen heißt **Brennpunct** (focus), ſeine Entfernung vom Spiegel (Vereinigungsweite) **Brennweite**, weil man in dieſem Puncte brennbare Körper mittelſt des Sonnenlichtes anzünden kann, ein Umſtand, der den Hohlſpiegeln auch den Namen **Brennſpiegel** erworben hat. 2) Je kleiner a, deſto größer wird α, d. i. je mehr ſich der leuchtende Punct dem Spiegel nähert, oder je divergirender die Strahlen auffallen, deſto mehr entfernt ſich der Vereinigungspunct der Strahlen vom Spiegel. Stets aber iſt für $a > 2p$, $\alpha < 2p$, aber zugleich $\alpha > p$. 3) Für $a = 2p$, wird auch $\alpha = 2p$, mithin fällt der Vereinigungspunct der reflectirten Strahlen mit dem leuchtenden Puncte zuſammen, wenn ſich letzterer im Mittelpuncte der Krümmung befindet. 4) Iſt $a < 2p$ aber doch $a > p$, ſo iſt $\alpha > 2p$, d. h. befindet ſich der leuchtende Punct innerhalb des Mittelpunctes der Krümmung, ſo fällt der Vereinigungspunct der Strahlen außer dieſen Mittelpunct. 5) Für $a = p$ wird $\alpha = \infty$, mithin vereinigen ſich die Strahlen, welche vom Brennpuncte ausgehen, nach ihrer Reflexion erſt in einer unendlich großen Entfernung vom Spiegel, d. h. ſie werden gleichlaufend. 6) Wird $a < p$, ſo bekommt α einen negativen Werth, d. h. ſteht der leuchtende Punct innerhalb der Brennweite, ſo werden ſeine Strahlen ſo reflectirt, als kämen ſie von einem Puncte hinter dem Spiegel her, oder ſie bleiben divergirend.

Dieſe Reſultate gelten nicht für Strahlen, bei welchen die Bedingung fehlt, daß der zum Einfallspuncte gehörende Halbmeſſer mit dem Hauptſtrahle einen ſehr kleinen Winkel bildet. Unter dieſen treffen nur diejenigen welche gegen den Hauptſtrahl einerlei Neigung haben, in

einem Puncte des letzteren Strahles zuſammen; es hängt nämlich die Lage des Punctes F, in welchem der Hauptſtrahl A D von dem reflectirten Strahle E F durchſchnitten wird, von der Größe des Winkels E C D und folglich von jener des Winkels E A D ab. Aus obiger Proportion läßt ſich zeigen, daß unter einerlei Umſtänden D F abnimmt, wenn E weiter von D wegrückt. Es wird daher E F von einem unendlich nahe liegenden, in der Ebene E A D reflectirten Strahle oberhalb A D geſchnitten; alle Durchſchnittspuncte je zweier benachbarten in einerlei Ebene reflectirten Strahlen geben eine Linie von eigener Krümmung, die man cauſtiſche Linie nennt, und alle cauſtiſchen Linien zuſammen beſtimmen eine krumme Fläche, welche cauſtiſche Fläche heißt. In der Nähe derſelben iſt die Intenſität des Lichtes am größten; man kann dieß an der herzförmigen Linie ſehen, die ſich innerhalb eines cylindriſchen Gefäßes oder eines Ringes zeigt, wenn dieſe Gegenſtände ſtark beleuchtet ſind. Im Sinne der Undulationstheorie iſt ein Brennpunct ein Punct, worin Wellentheile, welche zugleich von der Lichtquelle ausgegangen ſind, gleichzeitig, mithin in übereinſtimmenden Phaſen zuſammentreffen. Ein ſolcher iſt der Brennpunct eines nach einer Parabel gekrümmten Spiegels für Strahlen, die der Axe derſelben parallel ſind, wie ſich aus der Grundeigenſchaft dieſer Curve leicht zeigen läßt; desgleichen der eine Brennpunct einer Ellipſe für Strahlen, die von dem andern Brennpuncte ausgehen und an dem Umfange dieſer krummen Linie reflectirt werden.

245. Die durch Reflexion zu einem Puncte vereinigten Strahlen gehen davon ſo aus, als wäre dort der urſprünglich leuchtende Punct, man muß daher an dieſer Vereinigungsſtelle das Bild des leuchtenden Punctes ſehen; ja ſelbſt ſolche Strahlen, die durch Reflexion nur eine Richtung erhalten, als kämen ſie von demſelben Puncte her, wenn ſie ſich auch nie vereinigt haben, müſſen in uns die Empfindung erregen, als wenn ſie wirklich davon herkämen, und deßhalb ſieht man auch in dieſem ſcheinbaren Vereinigungspuncte ein Bild. Aus dieſem folgt, daß durch einen Hohlſpiegel immer ein Bild entſteht, wenn ſich der leuchtende Punct nicht in dem Brennpuncte befindet, und daß dieſes Bild vor dem Spiegel erſcheint, ſo lange der leuchtende Punct außer der Brennweite iſt, hingegen hinter demſelben, wenn er ſich innerhalb der Brennweite befindet. Daß durch dieſe Geſetze zugleich der Ort des Bildes eines ausgedehnten Gegenſtandes gegeben iſt, verſteht ſich wohl von ſelbſt.

246. So lange das Bild eines Gegenſtandes vor dem Hohlſpiegel erſcheint, iſt es immer verkehrt; es wächſt an Ausdehnung, ſo wie es ſich vom Krümmungsmittelpuncte des Spiegels entfernt, und kann daher größer oder kleiner ſeyn, als der Gegenſtand. Iſt nämlich A B (Fig. 285) der Durchſchnitt eines Hohlſpiegels, C der Mittelpunct ſeiner Krümmung, A B ein leuchtender Gegenſtand; ſo erſcheint A in dem Puncte a des Hauptſtrahles A C D, und B im Puncte b des Hauptſtrahles B C E; die Bilder der zwiſchen A und B gelegenen Puncte liegen zwiſchen a und b, ſo daß b a das ganze Bild von A B vorſtellt, welches offenbar vor dem Spiegel M N und verkehrt erſcheint. Zur Beſtimmung der Größe von a b kann man ohne Fehler annehmen

$$ab : AB = Ca : CA \text{ oder } \frac{ab}{AB} = \frac{Ca}{CA}.$$

Sobald das Bild hinter dem Spiegel erſcheint, iſt es immer aufrecht und übertrifft den Gegenſtand an Größe; denn für dieſelbe Bedeutung von MN und C in Fig. 286, und unter der Vorausſetzung, daß AB der innerhalb der Brennweite befindliche Gegenſtand ſey, erſcheint das Bild a von A hinter dem Spiegel im Hauptſtrahle CAa, und das von B im Puncte b des Hauptſtrahles CBb, mithin iſt ab das ganze Bild von AB, es ſteht offenbar aufrecht und iſt größer als AB. Von dieſem kann man ſich auch auf dem Erfahrungswege überzeugen, indem man eine brennende Kerze einem Hohlſpiegel immer mehr und mehr nähert, und ihr Bild mit weißem Papiere auffängt.

247. Nimmt man in dem für einen Hohlſpiegel entwickelten Ausdruck p negativ, d. h. ſchreibt man — p ſtatt p, ſo entſteht daraus die Formel

$$\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{a} = -\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{a}\right),$$

aus der man die Lage des von einem Converſpiegel reflectirten Strahles gegen ſeinen Hauptſtrahl ableiten kann. Man erſieht daraus leicht, daß für jeden poſitiven Werth von a der Werth von α verneinend ausfällt, und daß daher Strahlen, die von einem leuchtenden Puncte auf einen Converſpiegel fallen, ſo reflectirt werden, als kämen ſie von einem Puncte hinter dem Spiegel. In dieſem Puncte erſcheint daher das Bild jenes Punctes. Da α deſto größer wird, je größer p und a iſt, ſo muß die Entfernung dieſes Bildes vom Spiegel deſto größer ausfallen, je weiter der leuchtende Punct vom Spiegel entfernt und je größer der Krümmungshalbmeſſer des Spiegels iſt.

248. Das Bild eines leuchtenden Gegenſtandes in einem Converſpiegel muß dieſem gemäß auch hinter der Spiegelfläche entſtehen. Es erſcheint aufrecht und verkleinert; letzteres deſto mehr, je näher es am Centrum des Spiegels erſcheint. Denn iſt MN (Fig. 287) ein Durchſchnitt eines Converſpiegels, C der Mittelpunct ſeiner Krümmung, AB ein leuchtender Gegenſtand, und erſcheint das Bild von A im Puncte a des Hauptſtrahles AB, das von B im Puncte b ſeines Hauptſtrahles BC; ſo kann ab das Bild von AB vorſtellen, und man kann die Proportion annehmen

$$ab : AB = aC : AC.$$

249. Mehr zur Unterhaltung, als zum wiſſenſchaftlichen Behufe hat man cylindriſche und coniſche Spiegel. Erſtere können der Höhe nach als ebene, der Breite nach als convexe oder concave Spiegel angeſehen werden, je nachdem die erhabene oder hohle Fläche des Cylinders ſpiegelt, und deßhalb erſcheinen in ihnen die Bilder der Gegenſtände in natürlicher Länge, aber in verjüngter oder vergrößerter Breite. Coniſche ſind der Höhe nach plan, der Breite nach aber convex, und zwar gegen die Spitze des Kegels immer mehr; daher erſcheinen in ihnen die Bilder in natürlicher Höhe, aber mit ſtets nach oben zu abnehmender Breite. Es iſt begreiflich, daß, ſo wie durch dieſe Spiegel die Bilder wohl proportionirter Gegenſtände verzogen und verunſtaltet erſcheinen, die der nach einer gewiſſen Regel verun-

ſtalteten vom ſchönſten Bau geſehen werden können. Hierauf beruhen die ſogenannten katoptriſchen Anamorphoſen. (Siehe: *Jac. Leupold anamorphosis mechanica nova.* Leipzig, 1714. Schmidt's analytiſche Optik. Göttingen, 1834. S. 296.)

Die Geſetze der Reflexion des Lichtes und mehrere Eigenſchaften der Spiegel, insbeſondere die Brennſpiegel, waren bereits den Alten bekannt. Eine gründliche Darſtellung dieſer Lehre hat man aber erſt ſeit den letzteren Jahrhunderten.

Viertes Kapitel.

Gewöhnliche Brechung des Lichtes.

250. Wenn ein Lichtſtrahl auf einen durchſichtigen Körper fällt, ſo wird, beſondere erſt ſpäter zu betrachtende Fälle ausgenommen, ein Theil deſſelben reflectirt, und geht in das vorige Mittel zurück. Die Geſetze, nach welchen dieſes geſchieht, wurden, in ſo fern letzt genanntes Mittel nach allen Richtungen einerlei Elaſticität beſitzt, im vorhergehenden Kapitel abgehandelt. Ein anderer Theil des Lichtes aber dringt (wenigſtens im Allgemeinen) in den durchſichtigen Körper ein und wird nach Geſetzen darin fortgepflanzt, die jetzt erörtert werden ſollen. Es hat ſich bereits an einem früheren Orte (208) die Erfahrung dargeboten, daß ein zuſammengeſetzter Strahl hiebei in die verſchiedenen farbigen Strahlen zerlegt wird, aus denen er beſteht. Allein außerdem muß noch bemerkt werden, daß in gewiſſen kryſtalliſirten, überhaupt in ſolchen durchſichtigen Körpern, die nicht nach allen Richtungen einerlei Elaſticität zeigen, ein eindringender Strahl in zwei geſonderte Strahlenbündel zerfällt, alſo zwei gebrochene Strahlen liefert, während in den übrigen Medien aus dem einfallenden Strahle nur ein ſolcher Bündel entſteht. Dieß veranlaßt die einfache Brechung des Lichtes, welche die gewöhnlich vorkommende iſt, von der doppelten Brechung zu unterſcheiden. Das gegenwärtige Kapitel handelt nur vor der erſteren, und es wird, wenn von dem einfallenden Lichte die Rede iſt, vor der Hand vorausgeſetzt, daß dieſes einfaches oder homogenes, d. h. nicht in andere Strahlen zerlegbares Licht ſey, wofür man, wenn die Farbe des Lichtes nicht näher bezeichnet iſt, Licht von mittlerer Brechbarkeit (gelbes Licht) annehmen mag. Der Winkel, den der einfallende Strahl mit dem Einfallslothe, d. i. mit der Senkrechten im Einfallspuncte auf die Trennungsfläche der an einander grenzenden Medien macht, heißt der Einfallswinkel, der Winkel des gebrochenen Strahles mit dem Einfallslothe der Brechungswinkel. Die Ebene des erſteren Winkels heißt die Einfallsebene, jene des letzteren die Brechungsebene.

251. Die Geſetze, nach welchen ſich die gewöhnliche Brechung des Lichtes richtet, hat man ſeit langer Zeit auf dem Wege der Er-

fahrung ausgemittelt. Sie ſind folgende: 1) Der gebrochene Strahl liegt in der Einfallsebene, und rückſichtlich des einfallenden auf der entgegengeſetzten Seite des Einfallslothes. 2) Für dasſelbe brechende Mittel iſt das Verhältniß zwiſchen den Sinuſſen des Einfalls- und Bre- Brechungswinkels beſtändig und unabhängig von der Neigung des einfallenden Strahles gegen das Einfallsloth. Iſt daher der Einfallswinkel $= a$, ferner der Brechungswinkel $= b$, ſo iſt $\sin a : \sin b = n : 1$ oder $\frac{\sin a}{\sin b} = n$; wo n eine Zahl bedeutet, die immer denſelben Werth hat, ſo lange ſich das Mittel, aus welchem der Strahl kommt, und dasjenige, wohin er geht, nicht ändert. Man nennt ſie den Exponenten des Brechungsverhältniſſes für beide Mittel, oder kürzer den Brechungsinder auch den Brechungsexponenten. 3) Iſt n der Brechungsinder für den Uebergang des Lichtes aus einem Mittel A in ein anderes B, d. h. verhält ſich der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels wie $n : 1$, ſo iſt für den Uebergang des Lichtes aus dem Medium B in A das Brechungsverhältniß $= 1 : n$, mithin der Brechungsinder $= \frac{1}{n}$, d. h. der reciproke Werth desjenigen, der bei dem umgekehrten Gange des Lichtes Statt findet. Die Erfahrung lehrt nämlich, daß bei dem Durchgange des Lichtes durch einen von parallelen Ebenen begrenzten Körper, welcher beiderſeits von einerlei Mittel umgeben iſt, der aus dieſem Körper tretende Strahl ſtets dem eintretenden parallel iſt. 4) Iſt für den Uebergang des Lichtes aus einem Medium A in ein anderes B der Brechungserponent $= n$, und für den Uebergang von dieſem Medium B in ein drittes C der Brechungserponent $= m$, ſo beſteht für den unmittelbaren Uebergang des Lichtes aus dem Medium A in C der Brechungserponent mn. Auch dieſes folgt aus der Erfahrung, daß ein Lichtſtrahl, der durch zwei Schichten verſchiedener Mittel, deren Grenzflächen parallel ſind, von einem Medium ausgehend, wieder in dieſes gelangt, ſeiner urſprünglichen Richtung parallel austritt. 5) Erhält für eine gewiſſe Größe des Einfallswinkels der Sinus des Brechungswinkels, in Folge des beſtehenden Brechungsverhältniſſes, einen die Einheit überſteigenden Werth, in welchem Falle der Brechungswinkel imaginär wird, ſo findet auch kein Uebergang des Lichtes in das zweite Mittel Statt, ſondern dasſelbe kehrt nach dem Reflerionsgeſetze in das erſte Medium zurück. Man ſagt dann, das Licht erleide eine totale Reflexion. Da, wenn a der Einfalls-, b der Brechungswinkel, n der Brechungsinder iſt, die Gleichung $\sin b = \frac{1}{n} \sin a$ beſteht, und $\sin a$ nicht größer werden kann als die Einheit, ſo kann dieſer Fall nur dann eintreten, wenn $n < 1$ iſt. Dieß vorausgeſetzt, wird bei einem Einfallswinkel, deſſen Sinus größer als n iſt, $\sin b > 1$. Für $\sin a = n$ ergibt ſich $\sin b = 1$, mithin $b = 90^\circ$. Bei dieſem Werthe von a, der die Grenze zwiſchen den Einfallswinkeln iſt, bei welchen Brechung und totale Reflexion obwal-

tet, ſtreift der gebrochene Lichtſtrahl längs der Trennungsfläche der beiden Mittel hin. Wenn $n < 1$ iſt, ſo iſt ſtets $\sin b > \sin a$, mithin auch der Brechungswinkel b größer als der Einfallswinkel a (Fig. 288). In dieſem Falle ſagt man, die Brechung des Lichtes erfolge vom Einfallslothe, und das Mittel, aus dem das Licht kommt, breche dasſelbe ſchwächer als jenes wohin es geht. Es findet demnach die totale Reflexion des Lichtes nur bei deſſen Uebergang von einem ſchwächer brechenden Mittel in ein ſtärker brechendes Statt. Iſt aber $n > 1$, mithin $a > b$ (Fig. 289), ſo heißt es, die Brechung des Lichtes erfolge zum Einfallslothe. Von zwei Mitteln, welche bei dem Uebergange des Lichtes aus einem dritten Mittel in ſelbe, es beide zum Einfallslothe brechen, wird jenes das ſtärker brechende genannt, dem der größere Brechungsindex entſpricht.

Bei dem Uebergange aus dem leeren Raume in ein materielles Mittel erfolgt Brechung des Lichtes zum Einfallslothe; ein Gleiches geſchieht bei dem Uebergange des Lichtes aus Luft in Waſſer, Glas ꝛc. Doch iſt der Satz, den man ehemals häufig ausſprechen hörte, »bei dem Uebergange des Lichtes aus einem dünnen Mittel in ein dichteres werde es zum Einfallslothe, mithin bei dem Uebergange aus einem dichteren in ein dünneres vom Einfallslothe gebrochen,« unrichtig, und kann nur zugelaſſen werden, wenn beide Mittel dieſelbe materielle Beſchaffenheit und einerlei Aggregationszuſtand haben, und ihre optiſche Heterogeneität lediglich der Verſchiedenheit ihrer Dichte verdanken. Brennbare Körper zeichnen ſich vor anderen durch ihr großes Lichtbrechungsvermögen aus, wie z. B. ätheriſche Oehle, Weingeiſt, Aether, Schwefelkohlenſtoff, der Diamant, deſſen Brennbarkeit darnach, ehe ſeine chemiſche Natur bekannt war, vermuthet wurde.

Das Geſetz der einfachen Brechung des Lichtes kennt man erſt ſeit der Mitte des 17. Jahrhunderts. Es wird von Einigen dem Descartes, von Anderen dem Snellius zugeſchrieben.

252. Den angeführten Geſetzen der einfachen Brechung gemäß läßt ſich, wenn der Brechungsindex n gegeben iſt, aus der Richtung des einfallenden Strahles jene des gebrochenen und umgekehrt, mittelſt einer leichten geometriſchen Conſtruction finden. Wir wollen hier annehmen, die Fläche, in welcher beide Medien an einander grenzen, ſey eine Ebene; wäre dieß nicht der Fall, ſo ſetze man an die Stelle der Ebene, von der im Folgenden die Rede iſt, diejenige, durch welche die krumme Fläche in dem Einfallspuncte berührt wird. Dieß vorausgeſetzt ſey B (Fig. 290) der Punct, in welchem der einfallende Strahl die Trennungsebene MN beider Medien trifft. Man beſchreibe in der Einfallsebene aus B als Mittelpunct mit Halbmeſſern BF, BG, die ſich zu einander verhalten wie n zu 1, im Innern der brechenden Subſtanz Halbkreiſe. Iſt nun AB die Richtung des einfallenden Strahles, ſo verlängere man ſie, bis ſie den größeren Halbkreis in H ſchneidet, ziehe zu dieſem Puncte die Tangente HK, welche der MN in K begegne, und von letzterem Puncte zu dem andern Halbkreiſe die Tangente KL. Die von B durch den Berührungspunct L gezogene Gerade BLO gibt die Richtung des dem Strahle SA entſprechenden gebrochenen Strahles an. Daß dieſelbe wirklich mit dem angeführten

Brechungsgeſetze im Einklange ſteht, erhellet auf folgende Weiſe: Es ſey PBQ das Einfallsloth, ſo iſt wegen der rechten Winkel bei H und L der Einfallswinkel ABP = BKH und der Brechungswinkel QBO = BKL. Die Dreiecke BKH, BKL geben

$\sin BKH : 1 = BH : BK$; $\sin BKL : 1 = BL : BK$, mithin

$\sin BKH : \sin BKL = BH : BL$ oder

$\sin ABP : \sin QBO = BF : BG = n : 1$.

Es hat alſo hier wirklich der Sinus des Brechungswinkels zu jenem des Einfallswinkels das gehörige Verhältniß. Umgekehrt erhält man zu jeder Richtung BO des gebrochenen Strahles die des einfallenden, wenn man zu dem Durchſchnittspuncte L der BO mit dem kleinen Halbkreiſe die Tangente LK zieht, die den Punct K in der MN anzeigt, von welchem die Tangente KH zum größeren Halbkreiſe auszugehen hat, deren Berührungspunct H die Richtung des einfallenden Strahles ABH beſtimmt. Iſt der Brechungsexponent kleiner als 1, alſo $BF < BG$, ſo wird, ſobald der Punct K, in welchem die dem einfallenden Strahle zugehörende Tangente HK die MN ſchneidet, zwiſchen F und G fällt, die Brechung unmöglich, und es ſtellt ſich die totale Reflexion ein.

253. Um den Hergang der gewöhnlichen Brechung des Lichtes aus der undulirenden Bewegung des Aethers zu erklären, haben wir bloß die bereits bei der Erklärung der Reflexion (237) ins Werk geſetzten Principien auf den vorliegenden Fall zu übertragen. Es ſeyen wie dort (237) Aa, Ab, Ac,... u. ſ. w. die auf die ebene Trennungsfläche MN, Fig. 291, beider Medien einfallenden Strahlen, mithin a, b, c,... Mittelpuncte von Wellen, einerſeits in Bezug auf das frühere Medium des Lichtes, andererſeits in Bezug auf das neue. Erſtere geben, wie an dem angeführten Orte gezeigt wurde, das reflectirte Licht; letztere ziehen wir gegenwärtig in Erwägung. Die Verſchiedenheit beider Mittel liegt in der verſchiedenen Geſchwindigkeit, mit welcher ſie einfaches Licht von gegebener Farbe fortpflanzen. Angenommen, daß ſich die Geſchwindigkeit des Lichtes in dem Mittel, das den einfallenden Strahl enthält, zu der Geſchwindigkeit des Lichtes in dem brechendem Mittel verhalte, wie n : 1, ſo werden die Halbmeſſer X, Y, Z,... mit welchen innerhalb des brechenden Mittels, aus den Mittelpuncten a, b, c,... die Kugelflächen zu beſchreiben ſind, deren gemeinſchaftliche Berührungsfläche die Wellenfläche des gebrochenen Lichtes gibt, durch die Gleichungen

$$\frac{Aa}{n} + X = \frac{Ab}{n} + Y = \frac{Ac}{n} + Z \text{ etc.}$$

dargeboten; denn die Zeiten, binnen welchen das Licht ſeine Wege in den verſchiedenen Mitteln zurücklegt, werden durch die Quotienten dieſer Wege mit den entſprechenden Geſchwindigkeiten gemeſſen. Es iſt klar, daß die Kugelflächen, deren Mittelpuncte dem Puncte a unendlich nahe liegen, einander in einem Puncte der Ebene begegnen, die durch Aa ſenkrecht gegen MN gelegt iſt, und dieſer Punct iſt zugleich der Berührungspunct der Wellenfläche und der aus a beſchriebenen

Kugelfläche. Es ſey x dieſer Berührungspunct und b, in der Einfallsebene des Strahles Aa, unendlich nahe an a, ſo beſteht die Gleichung $\frac{Aa}{n} + ax = \frac{Ab}{n} + bx$, aus der $Ab - Aa = n\,(ax - bx)$ folgt. Man mache $Au = Aa$ und $xv = xb$, und ziehe au, bv, ſo iſt dieſer Gleichung gemäß

$$bu = n.ah, \text{ daher } bu : av = n : 1.$$

Man darf hier, wegen der Kleinheit der Winkel aAb, axb, die Winkel u, v als rechte betrachten, und erhält dadurch mittelſt der Dreiecke aub, avb:

$$ab : bu = 1 : \sin bau, \quad ab : av = 1 : \sin abv, \text{ mithin}$$

$bu : av = \sin bau : \sin abv$ daher auch $\sin bau : \sin abv = n : 1$. Errichtet man PQ in a auf MN ſenkrecht, ſo iſt der Winkel bau gleich dem Einfallswinkel AaP und abv gleich dem Brechungswinkel xaQ, folglich

$$\sin AaP : \sin xaQ = n : 1,$$

welches das Geſetz der gewöhnlichen Brechung des Lichtes iſt.

Die Brechung erfolgt zum Einfallslothe, wenn $n > 1$ und vom Einfallslothe, wenn $n < 1$ iſt. Im erſten Falle pflanzt alſo das brechende Mittel die undulirende Bewegung langſamer, im zweiten ſchneller fort, als das urſprüngliche Mittel des Lichtſtrahles.

254. Die Geſtalt der durch einen leuchtenden Punct erzeugten Wellenfläche nach der Brechung an der ebenen Grenzfläche zweier einfach brechenden Mittel weicht von der Kugelform ab, und kann auf dem im Vorhergehenden angedeuteten Wege mittelſt geeigneter analytiſcher Methoden berechnet werden. Iſt jedoch der leuchtende Punct von der brechenden Ebene ſo weit entfernt, daß alle von ihm auf dieſelbe fallenden Strahlen als parallel betrachtet werden dürfen, d. h. handelt es ſich lediglich um die Brechung einer ebenen Welle, ſo iſt leicht einzuſehen, daß die gebrochene Welle gleichfalls eine ebene Geſtalt haben werde, und es kann die Lage derſelben nach den angeführten Principien ausgemittelt werden. Es ſey AZ, Fig. 292, der Durchſchnitt einer ebenen Welle mit einer Ebene, die auf ihr und auf der brechenden Ebene ſenkrecht ſteht, ſo beruht die Fortpflanzung der Welle AZ auf dem Fortſchreiten der in allen Puncten derſelben, wie A, A', A''... gleichzeitig, und daher auch mit übereinſtimmenden Phaſen Statt findenden Vibrationen. Man hat hier bloß auf die Richtungen zu ſehen, nach denen die einander unterſtützenden Schwingungen weiter gehen, und kann daher annehmen, daß längs der auf AZ ſenkrechten Geraden AB, A'B', A''B'' u. ſ. w. Schwingungen fortgehen, die in B, B', B''... auf der Trennungsfläche der Mittel Erſchütterungen erregen, in Folge deren dieſe Puncte in das brechende Mittel kugelförmige Wellen ſenden. Es ſeyen X, X', X'',... die Halbmeſſer der letzteren in einem beſtimmten Augenblicke, ſo beſtehen die Gleichungen $\frac{AB}{n} + X = \frac{A'B'}{n} + X' = \frac{A''B''}{n} + X''$ u. ſ. w., wobei n die frühere Bedeutung hat (253). Aus dieſen Gleichungen folgt

$A'B' - AB = n\,(X - X')$, $A''B'' - A'B' = n\,(X' - X'')$ u. ſ. w. Es verhalten ſich demnach die Unterſchiede jener Halbmeſſer wie die Unterſchiede der Strahlen AB, A'B', A''B'' ꝛc., woraus nothwendig hervorgeht, daß die ſtetige Folge der benachbarten Durchſchnittspuncte aller ſo möglichen gleichzeitigen Kugelwellen eine Ebene darſtellt, die ſämmtliche Kugelflächen gemeinſchaftlich berührt. Um die Lage dieſer Ebene zu finden, ziehe man zu AZ im brechenden Mittel die Parallele KH, verlängere AB bis H, beſchreibe aus B mit einem Halbmeſſer, der ſich zu BH verhält wie 1 : n, einen Kreis, und ziehe zu demſelben aus K die Tangente KL. Dieſe iſt der Durchſchnitt der gebrochenen Welle, und der zum Berührungspuncte L gehende Halbmeſſer BL iſt der aus AB entſpringende gebrochene Strahl. In der That verlängert man A'B' bis H', und zieht man B'L' auf KL ſenkrecht, ſo hat man einerſeits $BK : B'K' = BH : B'H'$, andererſeits $BK : B'K' = BL : B'L'$, mithin $BL : B'L' = BH : B'H'$. Aber es iſt

$$BL : BH = 1 : n, \text{ oder } BL = \frac{BH}{n}, \text{ mithin auch } B'L' = \frac{B'H'}{n}.$$

Dem gemäß ergibt ſich

$$\frac{AB}{n} + BL = \frac{AB + BH}{n} = \frac{AH}{n};\quad \frac{A'B'}{n} + B'L' = \frac{A'B' + B'H'}{n} = \frac{A'H'}{n}$$

Aber es iſt $AH = A'H'$, folglich iſt auch $\frac{AB}{n} + BL = \frac{A'B'}{n} + B'L'$. Betrachtet man daher BL als den Halbmeſſer X, ſo iſt $B'L' = X'$, wodurch die Uebereinſtimmung von KH mit der Lage der gebrochenen Welle bewieſen iſt. Auch ſieht man, daß dieſe Conſtruction mit der in 252 gewieſenen identiſch iſt.

255. Aus den allgemeinen Gleichungen der Fortpflanzung der undulirenden Bewegung in einem Syſteme materieller Theilchen von der Art, wie man ſich den Lichtäther vorzuſtellen hat, ergibt ſich, Cauchy's Analyſe gemäß, das wichtige Reſultat, daß die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der einfachen Schwingungen, in welchen das homogene Licht beſteht, im Allgemeinen von der Schwingungsdauer abhängt. Beide Größen erſcheinen nämlich durch eine Gleichung mit einander verknüpft, in welcher ſich übrigens noch Größen befinden, die durch die ſpecielle Natur des Mittels dargeboten werden. Iſt daher die eine der zwei erſteren Größen gegeben, ſo iſt die andere beſtimmt. Hierin liegt der Grund, daß die Wellen, worin die Aethertheilchen ihre Schwingungen in kürzerer Zeit vollbringen, ſich langſamer fortpflanzen als diejenigen, deren Schwingungsdauer größer iſt. Erſteres iſt bei den violettes Licht gebenden Wellen, letzteres bei den rothes Licht gebenden der Fall. Aber der Brechungswinkel hängt bei gleicher Incidenz von dem Verhältniſſe der Fortpflanzungsgeſchwindigkeiten des Lichtes in den an einander grenzenden Mitteln ab, und zwar wird eine Lichtwelle um ſo ſtärker gebrochen, je langſamer ſie in dem brechenden Mittel fortſchreitet. Es ſind demnach die Wellen, deren Aethertheilchen eine kürzere Schwingungsdauer haben, die brechbareren. Hierin liegt der Grund der Zerlegung des weißen Lichtes durch Bre-

chung in ſeine farbigen Beſtandtheile, und überhaupt der Zerlegung jedes nicht homogenen Lichtes. Es erklärt ſomit die Undulationstheorie dieſe Zerlegung oder die ſogenannte Diſperſion des Lichtes vollkommen. (*Mémoire sur la dispersion de la Lumière. Par A. L. Cauchy. Prague* 1836.)

Da die Undulationstheorie die Erklärung, welche ſie von der Brechung des Lichtes gibt, aus derſelben Quelle ſchöpft, aus welcher die Erklärung der Reflexion hervorgeht, ſo ſieht man daraus zugleich, warum an der Grenze eines durchſichtigen Körpers beide Erſcheinungen in Verbindung mit einander auftreten. Die Emanationshypotheſe vermochte das Band, wodurch Reflexion und Brechung des Lichtes zuſammenhängen, nur mittelſt ganz willkürlicher Hilfshypotheſen feſtzuhalten. Die Brechung des Lichtes ſieht man nach dieſer Hypotheſe als das Ergebniß einer anziehenden Kraft des brechenden Mittels an. Man meint, es ſey dieſe Kraft in keinem Widerſpruche mit der, woraus nach derſelben Anſicht die Reflexion des Lichtes erklärt wurde, weil es denkbar iſt, daß dieſelbe Kraft, die in einem Zuſtande anziehend wirkt, in einem anderen eine abſtoßende Wirkung ausübe. Dieſe Kraft muß nach einer Richtung wirken, welche auf der Oberfläche des brechenden Mittels ſenkrecht ſteht, weil ein ſenkrecht einfallender Strahl nicht gebrochen wird, und ihre Wirkſamkeit kann ſich in einem merklichen Grade nur auf eine ſehr geringe Entfernung erſtrecken, weil ſonſt die Ablenkung des Lichtes ſchon in der Nähe des brechenden Mittels bemerkbar ſeyn müßte, was aber nicht der Fall iſt. Um aus der Wirkſamkeit dieſer Kraft die Erſcheinungen der Brechung abzuleiten, denke man ſich wieder die Geſchwindigkeit des vom leeren Raume einfallenden Lichtes in eine normale und in eine parallele zerlegt. Erſtere wird durch die anziehende Kraft des Mittels beim Eintritte des Lichtes in dasſelbe verſtärkt, letztere davon gar nicht afficirt; daher kommt es, daß die Bahn des Lichtes, welche die Reſultirende dieſer beiden Bewegungen im durchſichtigen Mittel iſt, näher an der normalen liegt, als im leeren Raume, und daher eine Brechung zum Einfallslothe erfolgt. Kommt das Licht nicht vom leeren Raume, ſondern von einem brechenden Mittel in ein anderes, ſo hängt das Ergebniß der Brechung von dem Unterſchiede der anziehenden Kräfte beider Mittel ab. Iſt die Kraft des Mittels, aus welchem ein Strahl kommt, kleiner, als die desjenigen, in welches er eintritt, ſo iſt der Erfolg derſelbe, als käme er vom leeren Raume in ein Mittel, deſſen Anziehung dem Unterſchiede der anziehenden Kräfte beider gleich iſt; er wird daher, wie vorher, zum Einfallslothe gebrochen. Verhält es ſich aber umgekehrt, ſo iſt es gerade ſo, als wenn das zweite Mittel abſtoßend auf das Licht wirkte, mit einer Kraft, welche dem Unterſchiede der Anziehungskräfte beider Mittel gleich iſt. In dieſem Falle wird die auf die Einfallsebene ſenkrechte Geſchwindigkeit des Strahles beſtändig vermindert, er beſchreibt eine gegen das Einfallsloth convexe krumme Linie, und wird vom Einfallslothe gebrochen. Die Farbenzerſtreuung wird in der Emanationshypotheſe als eine natürliche Folge der Wirkſamkeit ſolcher anziehenden Kräfte erklärt, welche auf Lichttheilchen von verſchiedener Maſſe verſchieden wirken, und dadurch eine verſchiedene Ablenkung derſelben hervorbringen.

Der Umſtand, daß nach der Emanationshypotheſe die Medien, welche den Gang des eintretenden Lichtes beſchleunigen, es zum Einfallslothe, und die, welche den Gang des eintretenden Lichtes verzögern, es vom Einfallslothe brechen, während nach der Undulationstheorie gerade das Gegentheil Statt findet, könnte, wenn es noch nöthig wäre, zu

einer directen Entſcheidung des Rangſtreites beider Anſichten dienen, ſobald es gelänge, durch Verſuche nachzuweiſen, ob das Licht in ſtärker brechenden Mitteln ſich langſamer oder ſchneller bewege, als in ſchwächer brechenden. Arago hat hiezu die Anwendung des Wheatſtone'ſchen rotirenden Spiegels vorgeſchlagen, durch deſſen Hilfe ſich das Zeitintervall, das zwiſchen zwei raſch auf einander folgenden Lichteindrücken obwaltet, ſenſibel machen läßt. Man hätte ſonach nur das von einem Puncte momentan oder wenigſtens binnen eines ſehr kleinen, die Dauer einer Umdrehung des Spiegels nicht erreichenden Zeittheiles ausgehende Licht durch die Luft und zugleich durch ein anderes Medium, z. B. Waſſer zu leiten, und die Augenblicke der Wahrnehmung nach der Stellung der Bilder mit einander zu vergleichen. (Pogg. Ann. 46. 28.)

256. Um den Brechungsexponenten für den Uebergang einer beſtimmten Lichtſorte aus der Luft in einen durchſichtigen Körper zu beſtimmen, wendet man letzteren am zweckmäßigſten in der Geſtalt eines dreiſeitigen Prisma's mit ebenen Seitenflächen an, und beobachtet die durch Brechung in demſelben veranlaßte Ablenkung eines hindurchgehenden Strahles von ſeiner urſprünglichen Richtung. Es ſey ABC (Fig. 293) ein Querſchnitt eines ſolchen Prisma's, der auf der Axe desſelben ſenkrecht ſteht, und es falle ein Strahl SD in der Ebene des Schnittes auf die Fläche AB. Iſt ED das Einfallsloth und der Stoff des Prisma's von der Art, daß der Strahl in ihm zum Einfallslothe gebrochen wird, ſo kann DF den gebrochenen Strahl vorſtellen. Dieſer wird aber beim Austritte aus dem Prisma in F wieder gebrochen, und zwar vom Einfallslothe FH, ſo daß er nach der zweiten Brechung die Richtung FG hat. Es iſt nicht ſchwer, durch Rechnung den Zuſammenhang zwiſchen dem Einfallswinkel SDE, dem brechenden Winkel ABC des Prisma's, dem Winkel GKx, den der gebrochene Strahl mit dem einfallenden macht, und dem Werthe von n zu finden. Um dieſe Größe für Flüſſigkeiten zu beſtimmen, wählt man ein hohles Prisma, das aus Glastafeln mit vollkommen parallelen Wänden beſteht, füllt die Flüſſigkeit ein und behandelt ſie nun wie einen feſten Körper. Bei der Prüfung von Gaſen und Dünſten muß dieſes Prisma mit einem Barometer und einem Thermometer in Verbindung ſtehen, um die Spannkraft und Dichte der Luft immer angeben zu können. Oft muß man aber auch die Dichte der Luft nach Belieben ändern können.

Wenn die Grenzen der einzelnen Farben im Spectrum, welches bei der Brechung gewöhnlichen Lichtes durch ein Prisma entſteht, genau beſtimmt wären, ſo könnte man den Brechungsexponenten n für die äußerſten Strahlen jedes Farbenſtreifen finden und die Grenzen der Brechbarkeit angeben, innerhalb welchen jeder Strahl dieſelbe Farbenempfindung erzeugt. Dieſes iſt aber nicht der Fall, und es gibt in einem Spectrum vom Sonnenlichte nichts ſcharf Begrenztes und genau dem Orte nach Beſtimmbares als die dunklen Fraunhofer'ſchen Linien. Darum kann man auch nur die den Stellen dieſer Linien entſprechenden Brechungsexponenten beſtimmen, was aber, da dieſe Beſtimmung mit großer Schärfe möglich iſt, zu jedem Bedürfniſſe der practiſchen Optik völlig hinreicht. So fand Fraunhofer (Gilb. Ann. 56. 292) für den Brechungsindex bei dem Uebergang aus der Luft in nachbenannte Medien für die den Linien B, C, D, E, F, G, H,

im Sonnenſpectrum entſprechenden Strahlen folgende Werthe, die wir hier mit den gleichnamigen Buchſtaben bezeichnen:

Flintglas Dichte 3,723	B=1,627749; C=1,629681; D=1,635036; E=1,642024; F=1,648260; G=1,660285; H=1,671062.
Flintglas Dichte 3,512	B=1,602042; C=1,603800; D=1,608494; E=1,614532; F=1,620042; G=1,630772; H=1,640373.
Crownglas Dichte 2,535	B=1,525832; C=1,526849; D=1,529587; E=1,533005; F=1,536052; G=1,541657; H=1,546566.
Crownglas Dichte 2,756	B=1,554774; C=1,555933; D=1,559075; E=1,563150; F=1,566741; G=1,573535; H=1,579470.
Waſſer Dichte 1,000	B=1,330977; C=1,331709; D=1,333577; E=1,335849; F=1,337788; G=1,341261; H=1,34162.
Terpentinöhl Dichte 0,885	B=1,470496; C=1,471530; D=1,474434; E=1,478353 F=1,481736; G=1,488198; H=1,493874.

Durch theoretiſche, auf die Emanationstheorie ſich ſtützende Gründe geleitet, nannte man, wenn n den Brechungsexponenten für den Uebergang des Lichtes aus dem leeren Raume in ein Medium, d die Dichte dieſes Mediums bedeutet, den Ausdruck $n^2 - 1$ die *brechende Kraft*, $\frac{n^2-1}{d}$ aber das *ſpecifiſche Brechungsvermögen* eines Mediums für die betrachtete Lichtſorte. Wurde dieſe nicht näher bezeichnet, ſo verſtand man darunter jene, deren Brechbarkeit das Mittel zwiſchen den Extremen hält. Bedeuten ferner n', n, n'' die Brechungsexponenten für die rothen mittleren und violetten Strahlen, ſo iſt $\frac{n''-n'}{n-1}$ die Größe, welche man das *Zerſtreuungsvermögen* des Mediums nennt. Folgendes ſind die Werthe genannter Größen für einige Körper:

A. Feſte Körper.

	d	n	n^2-1	$\frac{n^2-1}{d}$	$\frac{n''-n'}{n-1}$
Diamant	3,521	2,487	5,185	1,473	0,038
Saphir	4,000	1,794	2,218	0,554	0,026
Topas, gelber	3,550	1,638	1,684	0,474	0,025
Beryll	2,650	1,598	1,554	0,586	0,037
Zucker	1,606	1,554	1,415	0,943	0,036
Phosphor	1,770	2,424	3,946	2,230	0,128

B. Tropfbare Körper.

	d	n	n^2-1	$\frac{n^2-1}{d}$	$\frac{n''-n'}{n-1}$
Schwefelkohlenſtoff	1,272	1,643	1,699	1,336	0,048
Terpentinöhl	0,885	1,476	1,178	1,332	0,042
Alkohol	0,825	1,374	0,885	1,076	0,029
Waſſer	1,000	1,336	0,785	0,785	0,035
Schwefelſäure	1,841	1,440	1,074	0,583	0,031
Salpeterſäure	1,480	1,406	0,977	0,660	0,045
Salzſäure	1,156	1,376	0,893	0,776	0,043

C. Gaſe, bei 0° C. und 0,76 M. Barometerſtand.

	d	n	$n^2 - 1$	$\frac{n^2 - 1}{d}$
Atmoſphäriſche Luft . . .	1,000	1,000294	0,000589	0,000589
Sauerſtoffgas	1,103	1,000272	0,000544	0,000493
Waſſerſtoffgas	0,069	1,000138	0,000277	0,004073
Stickgas	0,976	1,000300	0,000601	0,000616
Ammoniakgas	0,591	1,000385	0,000771	0,001304
Kohlenſäuregas	1,524	1,000449	0,000899	0,000581
Chlorgas	2,470	1,000772	0,001545	0,000624
Salzſäuregas	1,254	1,000449	0,000899	0,000717
Stickoxydulgas	1,527	1,000503	0,001007	0,000659
Stickoxydgas	1,039	1,000303	0,000606	0,000583
Kohlenoxydgas	1,972	1,000340	0,000681	0,000342
Cyangas	1,819	1,000834	0,001668	0.000917
Oehlbildendes Gas	0,980	1,000678	0,001356	0,001384
Sumpfgas	0,559	1,000443	0,000886	0,001602
Schwefeligſaures Gas . . .	2,247	1,000665	0,001331	0,000059
Schwefelwaſſerſtoffgas . .	1,178	1,000644	0,001288	0,001093
Schwefelkohlenſtoffgas . .	2,644	1,00150	0,003010	0,001138

Die brechende Kraft eines Gaſes iſt genau ſeiner Dichte proportionirt. Dasſelbe gilt nach Dulong für Dünſte, ſo lange ſie noch weit vom Maximum ihrer Spannkraft entfernt ſind; in der Nähe dieſer Grenze aber wächſt ihre brechende Kraft in einem größeren Verhältniß als ihre Dichte. Die Temperatur ändert das Brechungsvermögen eines Gaſes nicht, wenn ſie nicht die Dichte afficirt. Die brechende Kraft eines gemengten Gaſes oder gemengter Dünſte läßt ſich aus den brechenden Kräften der einzelnen in dem Gemenge vorkommenden Körper berechnen; aber die brechende Kraft eines chemiſch zuſammengeſetzten Gaſes ſteht in keiner bekannten Beziehung zu jener ſeiner Beſtandtheile. (Biot und Arago in Gilb. Ann. 25. 345 und 365; 26. 36. Dulong in Pogg. Ann. 6. 373.)

Ueberhaupt hat in Betreff der Farbenzerſtreuung und ihres Zuſammenhanges mit der Brechung des Lichtes in einem Mittel die Erfahrung Folgendes gelehrt: Wenn in demſelben Mittel die Größe der Brechung etwa durch Aenderung der Dichte dieſes Mittels vergrößert oder verkleinert wird; ſo wird auch in demſelben Verhältniſſe die Größe der Farbenzerſtreuung größer oder kleiner oder es ändert ſich die Größe n″ in demſelben Verhältniſſe, in welchem ſich n′ ändert. Dieſes gilt aber nicht mehr, wenn ſich die Natur des Mittels ändert. Iſt in einem Mittel n größer als in einem anderen, ſo iſt zwar auch n″ und n″ — n′ in jenem größer als in dieſem; aber es wachſen die Größen n″ und n′ nicht mehr in demſelben Verhältniſſe, d. h. es ändert ſich die Farbenzerſtreuung nicht in demſelben Verhältniſſe, in welchem ſich die Brechung ändert. Es kann daher nicht von einer auf die andere geſchloſſen, und jede muß durch eigene Verſuche ausgemittelt werden. Das Zerſtreuungsverhältniß zweier Mittel iſt nicht für alle farbige Strahlen dasſelbe, und man kann daher nicht, wenn dieſes Verhältniß für irgend einen farbigen Strahl gegeben iſt, davon auf das für einen anderen Strahl ſchließen, ſondern man muß jedes eigens beſtimmen.

Das Farbenzerſtreuungsvermögen des Glaſes wird durch einen Zuſatz von Blei bedeutend erhöht, dieß iſt der Fall bei dem Flintglaſe.

Solches Glas, wie es Fraunhofer verfertigte, hat eine Farbenzerſtreuung, welche im Durchſchnitte ſich zu der des Crown- oder Spiegelglaſes wie 2 : 1 verhält. Bei engliſchem Flintglaſe iſt dieſes Verhältniß 1,5 : 1; bei Waſſer und Crownglas wie 1 : 1,56. Verſchiedene Flintglasgattungen haben auch ein verſchiedenes Zerſtreuungsvermögen, und zwar in der Regel ein deſto größeres, je dichter ſie ſind; Schwefel, Phosphor und die Metallſalze haben ein ſehr großes Brechungs- und Zerſtreuungsvermögen; Edelſteine brechen das Licht ſtärker als Flintglas, zerſtreuen es aber weniger als Waſſer; Harze, Gummi, Oehle und Balſame zerſtreuen und brechen das Licht beinahe in einerlei Verhältniß ſtärker als Waſſer. Die Oehle verdanken ihr großes Zerſtreuungsvermögen wahrſcheinlich dem Waſſerſtoffe, wenigſtens überzeugte ſich Herſchel, daß das Zerſtreuungsvermögen des Caſſiaöhles faſt um die Hälfte vermindert wurde, nachdem man ihm mittelſt Chlor Waſſerſtoff entzogen hatte. Salzſäure, Salpeterſäure und ſalpetrige Säure zerſtreuen das Licht mehr, Schwefelſäure, Phosphorſäure, Citronen- und Weinſteinſäure weniger als Waſſer. Ein ungemein kleines Zerſtreuungsvermögen beſitzen der Flußſpath, der Chryſolith und der Topas. (Gilb. Ann 50. 129.)

257. Kennt man für den Uebergang des Lichtes aus einem Medium in ein anderes den Brechungsexponenten, und iſt die Geſtalt der Trennungsfläche beider Medien gegeben, ſo läßt ſich nach den früher erklärten Principien zu jeder Richtung des einfallenden Strahles jene des gebrochenen finden. Geht dieſer Strahl wieder aus dem Medium, in welches er eingedrungen iſt, heraus, wobei er abermal eine Brechung erleidet, ſo läßt ſich gleichfalls die Bahn desſelben angeben, ſelbſt wenn er im Innern des genannten Mediums eine oder mehrere Reflexionen erlitten hätte. Die wichtigſte Anwendung dieſer Lehren iſt die Betrachtung des Ganges des Lichtes durch die ſphäriſchen Linſen, aus welchen die brauchbarſten optiſchen Inſtrumente gebildet werden. Man nennt überhaupt eine ſphäriſche Linſe ein von Kugelflächen begrenztes Mittel. Es gibt mehrere Arten derſelben, und zwar 1) beiderſeits erhabene (Fig. 294, a); 2) auf einer Seite erhabene, auf der anderen ebene (b); 3) auf einer Seite erhabene, auf der anderen hohle, ſo daß die erhabene Fläche mehr gekrümmt iſt als die hohle (c); 4) auf beiden Seiten hohle (d); 5) auf einer Seite hohle, auf der anderen ebene (e); 6) auf einer Seite erhabene, auf der anderen hohle, jedoch ſo, daß die erhabene Fläche weniger gekrümmt iſt als die hohle (f). Die Linie AB, in welcher die Mittelpuncte der Krümmungen einer Linſe liegen, heißt ihre Axe, der Punct der Axe in der Mitte der Linſe, heißt der optiſche Mittelpunct, und eine Linſe heißt centrirt, wenn alle ihre Theile um dieſe Axe ſymmetriſch liegen. Nur von ſolchen Linſen ſoll hier die Rede ſeyn. Man wendet gewöhnlich nur Glaslinſen an, verfertigt ſie aus weißem Spiegelglaſe, oder zu einem beſonderen Zwecke aus dem Flintglaſe, wohl auch aus gläſernen Schalen, die mit einer durchſichtigen Flüſſigkeit gefüllt werden. Die Formen a, b, c nennt man in dieſen Fällen aus ſpäter zu erörternden Gründen Sammellinſen, die Formen d, e, f Zerſtreuungslinſen. Fresnel ſchlug Linſen vor, die aus mehreren Ringen zuſammengeſetzt werden (polyzonale Linſen). In be-

ſonderen Fällen ſind Linſen aus reinen, durchſichtigen Edelſteinen von Nutzen.

258. Ein Lichtſtrahl Sx (Fig. 295), welcher in der Richtung der Axe auf eine doppelt convexe Linſe fällt, geht ungebrochen durch dieſelbe, weil die Tangenten der Puncte A und B, welche er trifft, mit einander parallel ſind, und es daher gerade ſo iſt, als ginge er durch ein von parallelen Wänden begrenztes Mittel; jeder andere Strahl erleidet aber eine Ablenkung. Um dieſe zu beſtimmen, ſey SDy ein Strahl, der mit der Axe einen ſehr kleinen Winkel bildet, C und c die Mittelpuncte der Krümmungen der Linſe, D der Einfallspunct des Strahles Sy, cDz das Einfallsloth, DE die Richtung des Strahles nach der erſten Brechung, G der Einfallspunct beim Austritte aus der Linſe, CG das Einfallsloth, GF der Strahl nach der zweiten Brechung, und n der Brechungsexponent für den Uebergang des Lichtes aus der Luft in das Material der Linſe. Man ſetze der Kürze halber $SA = a$, $AF = \alpha$, $AE = k$, $CG = f$, $cD = g$, vernachläßige die Dicke AB der Linſe, und nehme $SD = SA$, $DE = BE$ an, welches bei der vorausgeſetzten, ſehr geringen Größe des Bogens AD wohl geſchehen kann.

Es iſt dem Geſetze der Brechung gemäß

$$\sin SDz : \sin cDE = n : 1,$$

ferner geben die Dreiecke SDc, cDE

$$\sin DcS : \sin SDc = SD : Sc$$

$$\sin cDE : \sin DcE = cE : DE.$$

Verbindet man dieſe drei Proportionen durch Multiplication, und bedenkt, daß $\sin SDz = \sin SDc$ und $\sin DcS = \sin DcE$ iſt, ſo erhält man

$$Sc \,.\, DE = n \,.\, SD \,.\, cE, \text{ d. h. } (a + g)\, k = n\, a\, (k - g),$$

mithin $nag + gk = (n - 1)\, ak$, und hieraus durch Diviſion mit agk

$$\frac{n}{k} + \frac{1}{a} = (n - 1)\frac{1}{g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Für die Brechung des Strahles DE an der zweiten Fläche der Linſe findet eine ähnliche Gleichung Statt, die man ſogleich aus (1) erhält, wenn man daſelbſt n, g, a, k gegen $\frac{1}{n}$, $-f$, $-k$, α umtauſcht. Hierdurch wird

$$\frac{1}{n\alpha} - \frac{1}{k} = -\left(\frac{1}{n} - 1\right)\frac{1}{f} \text{ oder}$$

$$\frac{1}{\alpha} - \frac{n}{k} = (n - 1)\frac{1}{f} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Addirt man die Gleichungen (1) und (2), ſo hat man:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = (n - 1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) \quad . \quad (A).$$

259. Aus dieſer Gleichung kann man die Brechungsgeſetze des Lichtes in Linſen für Strahlen, die von der Axe ſehr wenig abweichen, leicht beſtimmen. Sie gibt 1) für $a = \infty$, $\frac{1}{\alpha} = (n - 1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right)$,

d. h. die Strahlen, die von einem unendlich weit entfernten Puncte herkommen oder die parallel auffallen, vereinigen ſich in einem Puncte hinter der Linſe. Man heißt dieſen Punct den **Brennpunct** (focus), und ſeine Entfernung von der Linſe die **Brennweite**. Setzt man die Brennweite $= p$, ſo wird

$$\frac{1}{p} = (n - 1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (B),$$

und daher aus (A)

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} \text{ oder } \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a} \quad . \quad . \quad . \quad (C).$$

2) Je kleiner a iſt, deſto größer wird α, d. i. je näher der leuchtende Punct an die Linſe rückt, oder je divergirender die Strahlen auffallen, deſto weniger convergirend ſind ſie nach der Brechung. 3) Für $a = 2p$ wird auch $\alpha = 2p$, d. h. ſteht der leuchtende Punct in der doppelten Brennweite vor der Linſe, ſo vereinigen ſich die von ihm ausgehenden Strahlen in derſelben Entfernung hinter der Linſe. 4) Für $a = p$ wird $\alpha = \infty$, d. i. wenn ſich der leuchtende Punct im Brennpuncte befindet, werden die Strahlen durch die Brechung parallel. 5) Für $a < p$ wird der Werth von α negativ, d. i. wenn ſich der leuchtende Punct innerhalb der Brennweite befindet, ſo bleiben die von ihm ausgehenden gebrochenen Strahlen divergirend. 6) Hat a einen negativen Werth, ſo iſt, wenn man $-a$ ſtatt a ſchreibt, $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} + \frac{1}{a}$ mithin $\alpha < a$, d. i. convergirend auffallende Strahlen werden durch eine Converlinſe noch mehr convergirend gemacht. Man ſieht hieraus, daß in den Fällen 1, 3, 5, 6, ein Bild des leuchtenden Punctes in der Axe entſteht.

260. Linſen, welche auf einer Seite convex, auf der anderen eben ſind, können ſo angeſehen werden, als hätten ſie an der planen Seite eine Kugelkrümmung, wozu ein unendlich großer Radius gehört. Setzt man daher in der Formel (B) $f = \infty$, ſo erhält man $\frac{1}{p} = \frac{n-1}{g}$, und erſieht daraus, daß die für beiderſeits convexe Linſen aufgeſtellte Formel auch für planconvexe gilt, und daß der ganze Unterſchied im Werthe der Brennweite beſteht, der bei übrigens gleichen Umſtänden für jene immer kleiner als für dieſe iſt. Dieſelbe Formel gilt auch für **concavconvexe** Linſen, wenn man einen Radius negativ nimmt, und ſie in

$$\frac{1}{p} = (n - 1)\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{g}\right)$$

umſtaltet. Iſt nun $f < g$, d. i. der Radius der Convexität kleiner als jener der Concavität, ſo fällt p poſitiv aus, und es gehört die Linſe in die Reihe der zwei vorigen. Der Umſtand, daß dieſe drei Gattungen, des poſitiven Werthes der Brennweite wegen, parallele Strahlen immer convergirend zu machen ſuchen, rechtfertiget die denſelben zukommende gemeinſchaftliche Benennung **Sammellinſen**. Sie heißen auch **Brenngläſer**, weil ſie das Sonnenlicht im Brenn-

puncte ſo concentriren, daß man daſelbſt Körper verbrennen kann. Tſchirnhauſen, der es in der Verfertigung der Brenngläſer ſehr weit trieb, verfertigte eines von drei Fuß Oeffnung und zwölf Fuß Brennweite. So große Brenngläſer macht man am leichteſten aus zwei Uhrſchalen, die man zuſammenſetzt und mit Waſſer oder Weingeiſt ausfüllt. Im Brennraume ſolcher Linſen können Metalle geſchmolzen und Erden verglaſet werden.

261. Für eine beiderſeits hohle Linſe wird ſowohl der eine als der andere Halbmeſſer negativ. Deßhalb gilt für ſie die Formel:
$$\frac{1}{p} = (n-1)\left(-\frac{1}{f}-\frac{1}{g}\right) \text{ oder } \frac{1}{p} = -(n-1)\left(\frac{1}{f}+\frac{1}{g}\right),$$
das heißt es fällt p negativ aus. Setzt man in (C) $-p$ ſtatt p, ſo hat man
$$\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{a} \quad . \quad . \quad . \quad (D).$$

Des negativen Werthes der Brennweite wegen werden Strahlen, welche auf eine ſolche Linſe parallel auffallen, durch die Brechung ſo divergirend, als kämen ſie von einem Puncte vor der Linſe her. Dieſer Punct iſt wieder der Brennpunct des Glaſes und ſeine Entfernung von der Linſe die Brennweite. Man nennt ihn nicht ſelten den imaginären Brennpunct, weil ſich daſelbſt die Strahlen nicht wirklich vereinigen. So lange a einen endlichen aber poſitiven Werth hat, iſt α negativ und dem numeriſchen Werthe nach kleiner als a, d. i. divergirend auf dieſe Linſe auffallende Strahlen werden durch die Brechung noch mehr divergirend. Iſt a negativ, d. h. fallen die Strahlen convergirend auf; ſo wird, wenn man in (D) $-a$ an die Stelle von a bringt,
$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{a} - \frac{1}{p}.$$
Iſt $a > p$, ſo wird α negativ oder die Strahlen werden divergirend. Iſt $a = p$; ſo wird $\alpha = \infty$ oder die Strahlen werden parallel. Iſt endlich $a < p$, ſo wird α poſitiv oder die Strahlen bleiben convergirend, ſind es aber wegen $\alpha > a$ weniger als vor ihrer Brechung. Wenn man $f = \infty$ ſetzt, und aus obiger Formel
$$\frac{1}{p} = -\frac{n-1}{g}$$
macht, ſo hat man ſie für eine planconcave Linſe eingerichtet. Eine ſolche Linſe bringt daher im Allgemeinen dieſelben Wirkungen hervor, wie eine beiderſeits concave. Iſt f poſitiv, g negativ, und überdieß $f > g$, ſo wird die Linſe eine convexconcave, und es zeigt die Formel
$$\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{g}\right),$$
daß p negativ wird, demnach dieſe Linſe ebenfalls in die Klaſſe der zwei ſo eben betrachteten gehört. Alle drei zuſammen begreift man des negativen Werthes der Brennweite wegen unter dem Worte Zerſtreuungslinſen.

262. Strahlen, die mit der Axe einen bedeutenden Winkel machen, können nicht ſo wie die vorher betrachteten durch die Linſe in einem Puncte vereiniget werden. Fallen z. B. mehrere ſolche Strahlen auf die Linſe Fig. 296 auf, und ſchneiden die der Axe AB nächſten dieſelbe in F, ſo werden die anderen, mehr abweichenden ſich einander in f, f′, f″, f‴ ſchneiden, und ſo zu beiden Seiten der Axe die ſymmetriſche Curve ff′ F f″ f‴ bilden, welche man Brennlinie (Caustica) nennt. Dieſe Abweichung kommt von der Geſtalt der Linſe her, und heißt Abweichung wegen der Kugelgeſtalt (ſphäriſche Abweichung). Wegen ihr geben nur die von der Axe wenig abſtehenden Strahlen hinter der Linſe ein deutliches Bild des leuchtenden Punctes. Will man daher ein ſolches Bild erhalten, ſo muß man die gegen den Rand der Linſe einfallenden Strahlen durch eine Blendung abhalten, und der Linſe ſolche Krümmungen geben, daß dieſe Abweichung ein Kleinſtes werde.

Bei zwei nahe an einander geſtellten Linſen kann man nach Herſchel (*Phil. transact.* 1821) dieſe Abweichung ganz heben, bei einer gleichſeitigen Linſe iſt dieſe Abweichung größer als bei einer ungleichſeitigen, bei letzterer größer, wenn die weniger gekrümmte Seite gegen das Object gekehrt iſt, als wenn das Gegentheil Statt findet, bei einer Convexplan- oder bei einer Concavplanlinſe, deren Planſeite gegen das Auge gewendet wird, iſt die Abweichung faſt ſo klein, wie bei einer Linſe, wo ſie auf das Minimum gebracht iſt.

263. Die in 259 angegebene Gleichung (C) gilt auch für einen Punct, der außer der Axe, aber in einer ſehr geringen Entfernung von ihr liegt. Um dieſes zu beweiſen, ſey Ma (Fig. 297) die Axe der Linſe, S der leuchtende Punct außer ihr, C das optiſche Centrum, Ss ein Strahl durch C, SB ein anderer Strahl, und Bs ſein Weg nach der Brechung. Verlängert man die Linie BS, bis ſie die Axe in A ſchneidet, und eben ſo sB nach Belieben bis E, ſo iſt

$$BSs + BsS = BAD + BDA,$$

weil jede dieſer Summen gleich EBA iſt. Liegt nun S in einer ſehr geringen Entfernung von der Axe, und SB wenig gegen Ss geneigt, ſo kann man die genannten Winkel ihren Tangenten proportionirt ſetzen, und BC auf SC ſenkrecht annehmen. Dieſem gemäß iſt

$$BSs = \frac{BC}{SC},\ BsS = \frac{BC}{sC},\ BAD = \frac{BC}{AC},\ BDA = \frac{BC}{CD},$$

und daher $\frac{BC}{SC} + \frac{BC}{sC} = \frac{BC}{AC} + \frac{BC}{CD}$ oder

$$\frac{1}{SC} + \frac{1}{sC} = \frac{1}{AC} + \frac{1}{CD}.$$

Befände ſich der leuchtende Punct in A, ſo wäre

$$\frac{1}{AC} + \frac{1}{CD} = \frac{1}{p},\ \text{mithin iſt auch}\ \frac{1}{SC} + \frac{1}{sC} = \frac{1}{p}.$$

Es entſteht daher auch von einem leuchtenden Puncte, der außer der Axe, aber nahe an ihr liegt, unter denſelben Umſtänden, wie von einem in der Axe liegenden, ein Bild, und zwar in einer durch den

leuchtenden Punct und durch das optiſche Centrum gezogenen, geraden Linie.

264. Befindet ſich außerhalb der Brennweite einer Sammellinſe ein leuchtender Gegenſtand, wovon kein Punct gar weit außer der Axe der Linſe liegt, ſo entſteht von jedem Puncte ein Bild hinter der Linſe, in einer durch ihn und durch das optiſche Centrum gezogenen, geraden Linie; die Bilder aller Puncte geben ein verkehrtes Bild des Gegenſtandes. Wäre z. B. AB (Fig. 298) eine Sammellinſe, F ihr Brennpunct, Ss ein Gegenſtand; ſo entſteht von S das Bild S', von s das Bild s', und die Bilder der zwiſchen S und s liegenden Puncte befinden ſich zwiſchen S' und s', ſo daß S's' das Bild von Ss vorſtellt. Iſt C der optiſche Mittelpunct, ſo wird ohne merklichen Fehler angenommen werden können, $\frac{Ss}{S's'} = \frac{CS}{C'S'}$. So lange alſo $CS > C'S'$; iſt auch $Ss > S's'$. Man ſieht hieraus, daß das Bild deſto größer ausfällt, je näher der Gegenſtand an den Brennpunct rückt. Befindet ſich unter derſelben Vorausſetzung, wie vorher, ein leuchtender Gegenſtand innerhalb der Brennweite einer Sammellinſe; ſo entſteht nicht, wie im vorhergehenden Falle, ein wirkliches durch Zuſammentreffen der Strahlen hervorgebrachtes Bild, welches man auf einer hinter der Linſe geſtellten Tafel auffangen kann, ſondern lediglich ein imaginäres, d. h. bloß für ein Auge, welches die aus der Linſe kommenden Strahlen aufnimmt, vorhandenes Bild vor der Linſe in einer größeren Entfernung, als die des Gegenſtandes iſt. Dieſes Bild erſcheint aufrecht und vergrößert. Iſt nämlich wieder AB (Fig. 299) eine Sammellinſe, FC ihre Axe, F der Brennpunct, C der optiſche Mittelpunct, Ss ein leuchtender Gegenſtand; ſo erſcheint das Bild von s in s', das von S in S', mithin das ganze Bild von Ss in S's', und kann, vorausgeſetzt daß S's' in der Sehweite eines Auges liegt, von demſelben wahrgenommen werden. Da hier wieder, wie vorhin $\frac{S's'}{Ss} = \frac{C's'}{Cs}$ iſt, ſo muß S's' immer größer als Ss erſcheinen, und zwar deſto mehr, je näher Ss im Vergleiche mit S's' der Linſe liegt, mithin je kleiner die Brennweite derſelben iſt.

265. Zerſtreuungslinſen geben von einem leuchtenden Gegenſtande, er mag ſich außerhalb oder innerhalb der Brennweite oder gar im Brennpuncte ſelbſt befinden, ein aufrechtes imaginäres Bild vor der Linſe, das ihr näher liegt, als der Gegenſtand, und deßhalb ſtets verjüngt erſcheint. Iſt AB (Fig. 300) eine Zerſtreuungslinſe, FC ihre Axe, C der optiſche Mittelpunct, Ss ein leuchtender Gegenſtand, ſo erſcheint s in s', S in S' und Ss in S's'. Wegen $C's' < Cs$ muß auch immer $S's' < Ss$ ſeyn.

266. Der Umſtand, daß die Brechbarkeit des Lichtes mit ſeiner Eigenſchaft, die Empfindung einer beſtimmten Farbe zu erregen, ſo innig zuſammenhängt, macht, daß bei jeder Brechung auch eine Farbenzerſtreuung eintritt. Wo die Ablenkung des gebrochenen Strahles nicht groß iſt, hat dieſe Zerſtreuung auf unſere Empfindung frei-

lich keinen merklichen Einfluß, wo aber ein Lichtſtrahl von ſeiner Bahn bedeutend abgelenkt wird, da iſt dieſer Einfluß auf die Deutlichkeit und Färbung des Bildes des Gegenſtandes, von dem das Licht kommt, ſehr groß. Es ſey S (Fig. 301) ein leuchtender Punct, der weißes Licht auf die Sammellinſe AB ſendet. Dieſes Licht wird bei der Brechung zerſtreut, die brechbarſten Strahlen vereinigen ſich in v, die von mittlerer Brechbarkeit in f, die am wenigſten brechbaren in r, ſo daß alle zuſammen, abgeſehen von der Abweichung wegen der Geſtalt des Glaſes, ſich nicht mehr in einem Puncte vereinigen, ſondern bei ihrer größten Vereinigung innerhalb eines Kreiſes vom Durchmeſſer CD liegen, den man Abweichungskreis nennt. Stellt man ein dünnes Plättchen mit einer feinen, runden Oeffnung nahe an den Brennpunct einer Sammellinſe, die in einem verfinſterten Zimmer einen eindringenden Lichtkegel auffängt; ſo werden einige der farbigen Strahlen aufgehalten, während die anderen durch die Oeffnung gehen, und auf einer Tafel aufgefangen, ein ſchönes Farbenſpiel gewähren. Noch herrlicher wird dieſe Erſcheinung, wenn man ſtatt der runden Oeffnung eine ringförmige nimmt, wie Fig. 302 zeigt. Es gibt daher an Linſen außer der ſphäriſchen Abweichung auch noch eine wegen der verſchiedenen Brechbarkeit des farbigen Lichtes, die man chromatiſche Abweichung nennt. Sie iſt in der Regel bei den gewöhnlichen Linſen viel größer als jene, und würde den Bildern alle Deutlichkeit benehmen, wenn nicht der Umſtand Statt fände, daß ſich das von einem Puncte S kommende Licht nicht innerhalb des ganzen Abweichungskreiſes gleichmäßig vertheilt, ſondern im Mittelpuncte f am ſtärkſten iſt, und gegen den Umfang hin beſtändig abnimmt, ſo daß es am Umfange ſelbſt unendlichmal ſchwächer als im Mittelpuncte iſt. Nämlich alle Strahlen von mittlerer Brechbarkeit gehen durch den Mittelpunct dieſes Kreiſes, alle äußerſten ſind auf der ganzen Kreisfläche verbreitet, und die übrigen Strahlen nehmen auf ihr einen größeren oder kleineren Raum ein, je nachdem ihre Brechbarkeit mehr oder weniger von der mittleren abweicht.

Man mißt die Größe der von einer der zwei Abweichungen herrührenden Undeutlichkeit durch den Halbmeſſer des Kreiſes, in welchem ſich die Strahlen vereinigen, welche ohne Abweichung in einen Punct vereinigt würden. Er heißt darum auch der Halbmeſſer der Undeutlichkeit. — Unter Strahlen von mittlerer Brechbarkeit verſteht man nicht die in der Mitte des Farbenbildes liegenden, ſondern die den rothen etwas näheren gelben, weil das Farbenbild auf der Seite der violetten Strahlen ſchwächer iſt, als auf der Seite der rothen, und weil man bei der Beſtimmung der Farbenzerſtreuung mit einem Prisma, das einen kleinen brechenden Winkel hat, ſtets ein Verhältniß findet, das mit dem der gelben Strahlen übereinſtimmt.

267. Stellt man einen leuchtenden Körper in gehöriger Entfernung vor eine Sammellinſe, ſo werden alle von jedem einzelnen Puncte ausgehenden Strahlen auf die vorhin genannte Weiſe geſammelt, die Kreiſe der an einander grenzenden Puncte decken ſich zum Theile (Fig.

269), und verurſachen dadurch eine Undeutlichkeit des Bildes, die deſto größer iſt, je mehr die farbigen Strahlen zerſtreut werden, und je gleichförmiger das Licht im Abweichungskreiſe jedes Punctes vertheilt iſt.

268. Außer dieſer Undeutlichkeit der Bilder verurſacht die verſchiedene Brechbarkeit des Lichtes auch noch gewiſſe Farbenerſcheinungen. Iſt z. B. AB (Fig. 303) ein Gegenſtand, der weißes Licht auf die Sammellinſe CD ſendet und ſich außer ihrer Brennweite befindet, ſo entſteht hinter ihr nicht ein einziges Bild, wie bisher immer angenommen wurde, ſondern unzählige in verſchiedener Entfernung von der Linſe und daher auch von verſchiedener Größe, worunter ſechs verſchiedenfarbige unterſchieden werden können. Das von der Linſe entfernteſte, mithin größte, darunter iſt das rothe r r′, das kleinſte das violette v v′; die übrigen liegen zwiſchen beiden. Werden dieſe Bilder auf einer weißen Tafel aufgefangen oder mit freiem Auge betrachtet, ſo decken ſich dieſelben in der Mitte, und bringen durch ihren Geſammteindruck die Empfindung der weißen Farbe hervor. Nicht ſo am Rande; da ragt der rothe und gelbe Theil über die übrigen hervor, und das ganze Bild erſcheint daher mit einem rothgelben Saume. Wäre der Gegenſtand nach innen begrenzt wie ein Ring, ſo würde ſein Bild eine bläulich violette Einfaſſung haben, weil von dieſer Seite das violette und blaue Bild vorſteht. Erſchiene dem Auge O das Bild eines Gegenſtandes AB (Fig. 304) vor der Linſe CD, ſo müßte in Betreff des farbigen Randes das Umgekehrte Statt finden. Hier iſt das rothe Bild r r′ der Linſe am nächſten, das violette v v′ davon am meiſten entfernt, und daher jenes unter allen das kleinſte, dieſes das größte, weßwegen letzteres über die anderen hervorragen und einen bläulich violetten Saum erzeugen muß.

269. Der nachtheilige Einfluß dieſer verſchiedenen Brechbarkeit des Lichtes mußte wohl ſchon früh denkende Naturforſcher aufmuntern, Mittel ausfindig zu machen, um ihm abzuhelfen. Newton hielt ein ſolches Mittel, durch eine unrichtige Beobachtung und einen falſchen Schluß verleitet, für unmöglich, Euler vermuthete die Möglichkeit desſelben aus der Betrachtung des Baues des Auges, wo dieſe Abweichung nicht Statt zu finden ſchien; aber erſt Dollond (im Jahre 1757) war es vorbehalten, durch Klingenſtierna's Unterſuchungen veranlaßt, auf die rechte Spur zu kommen, und Linſen mit farbenloſen Bildern, achromatiſche Linſen, zu verfertigen. Um einen richtigen Begriff vom Weſen des Achromatismus zu bekommen, muß man Folgendes überlegen: Die Urſache, warum ein von der Sonne direct kommender Strahl nicht farbig erſcheint, liegt darin, daß die verſchieden brechbaren Beſtandtheile desſelben mit einander parallel fortgehen und auch zuſammen ins Auge kommen; durch ein dreiſeitiges Prisma wird der weiße Strahl in farbige Theile zerlegt, weil durch die Brechung dieſer Parallelismus der farbigen Theile aufgehoben wird. Man wird daher, um z. B. ein achromatiſches Prisma zu Stande zu bringen, dahin arbeiten müſſen, dieſen Parallelismus

wieder herzuſtellen, ohne die Ablenkung des Strahles überhaupt aufzuheben. Wenn daher an ein Prisma A (Fig. 305), welches den einfallenden weißen Strahl Sa in farbige Theile zerlegt, wovon die äußerſten ab und ac ſind, ein zweites B, welches aus einem gleich ſtark brechenden, aber mehr zerſtreuenden Stoffe beſteht, ſo gelegt wird, daß die brechenden Winkel eine entgegengeſetzte Lage haben; ſo wird vom Prisma der violette Strahl ac in einem größeren Verhältniſſe abgelenkt, als der rothe ab, und da die Ablenkung desſelben Strahles in beiden Prismen nach entgegengeſetzten Richtungen erfolgt, ſo wird es bei einem gewiſſen Verhältniſſe der brechenden Winkel zum Zerſtreuungsvermögen der Prismen dahin kommen, daß beide Strahlen cd und be nach dem Austritte aus den Prismen mit einander parallel werden. Dieſes wird aber natürlich nur bei einem beſtimmten Einfallswinkel des Lichtes Statt finden, und es wird daher das Prisma nur bei dieſem achromatiſch ſeyn; aber auch hier wird der Achromatismus nicht ganz vollſtändig ſeyn können, weil nur die äußerſten, nicht aber alle Strahlen mit einander parallel werden. Dollond conſtruirte zuerſt ein achromatiſches Prisma aus Crown- und Flintglas, wovon jenes einen brechenden Winkel von 30°, dieſes einen Winkel von 19° hatte.

270. Nach denſelben Grundſätzen werden achromatiſche Linſen verfertiget. Es ſey A (Fig. 306) eine Convexlinſe aus Crownglas, welche die weißen auffallenden Strahlen ſo convergirend macht, daß ſich die rothen in r, die gelben in g und die violetten in v vereinigen. Nach Hinzugabe eines Concavglaſes B wird die Convergenz der gebrochenen Strahlen kleiner, und wenn deſſen Brennweite größer iſt, als die von A, ſo vereiniget die Doppellinſe die gelben Strahlen in einer größeren Entfernung, z. B. in g'. Iſt B von Flintglas, ſo bringt es wegen der größeren Farbenzerſtreuung die Vereinigungspuncte der rothen und violetten Strahlen näher an g', als es der Fall bei Crownglas geweſen wäre, und bei einem gewiſſen Verhältniſſe zwiſchen den Brennweiten der Linſen und ihrer Farbenzerſtreuung fallen alle dieſe Puncte zuſammen. Dieſes ſetzt aber auch voraus, daß die Farbenzerſtreuung beim Flintglaſe für alle farbige Strahlen gegen die beim Crownglaſe in demſelben Verhältniſſe ſtehe; eine Bedingung, die in der Wirklichkeit nicht eintrifft. Daher begnügt man ſich gewöhnlich bei achromatiſchen Linſen, die Vereinigungspuncte der äußerſten Strahlen und derjenigen zuſammenzubringen, die vermöge ihrer Brechbarkeit und Lebhaftigkeit gleichſam als die mittleren anzuſehen ſind, allein man bewirkt dadurch keinen vollkommenen Achromatismus, und muß daher oft zur beſſeren Erzielung des beabſichtigten Zweckes eine dreifache Linſe conſtruiren, welche aus zwei converen Crownglas- und einer concaven Flintglaslinſe beſteht, welche zuſammen ein achromatiſches Syſtem bilden. Allein auch damit reicht man nicht aus, wenn es ſich um ein Bild von beträchtlicher Ausdehnung handelt, das nicht bloß von der chromatiſchen, ſondern auch von der ſphäriſchen Abweichung möglichſt frei ſeyn ſoll. Man nimmt dann eine Zuſammenſtellung

mehrerer Linſen zu Hilfe. Eine Combination von Linſen, bei welcher nebſt der chromatiſchen auch noch die ſphäriſche Abweichung gehoben iſt, heißt **aplanatiſch**. Fallen auf eine achromatiſche Linſe parallele Strahlen auf, ſo wird der convexe Beſtandtheil gegen das Object gewendet; treffen es hingegen ſtark divergirende Strahlen, ſo kehrt man den concaven Theil gegen das Object.

Gewöhnlich ſtellt man die Flintglaslinſe hart an die Crownglaslinſe, womit erſtere eine achromatiſche Verbindung geben ſoll, oder kittet gar beide zuſammen; da müſſen natürlich die Linſen gleiche Oeffnungen bekommen. Erſt in der neueſten Zeit hat man beide Linſen bis auf $\frac{1}{3}$—$\frac{1}{2}$ der Brennweite des Crownglaſes aus einander gerückt, und dadurch den Vortheil erlangt, den ganzen, auch von einer groſſen Crownglaslinſe kommenden Lichtkegel mit einem viel kleineren Flintglaſe auffangen und achromatiſiren zu können. Die Conſtruction ſolcher Linſen, die man **dialytiſche** nennt, hat zuerſt **Barlow** angedeutet, **Rogers** hat den gemachten Vorſchlag abgeändert, **Littrow** und **Stampfer** haben die mathematiſche Theorie geliefert, und **Plößl** hat ſie zuerſt ausgeführt. (**Barlow** in *Phil. Transact.* 1829, **Rogers** in Zeitſchr. 5. 120, Jahrb. des polyt. Inſtit. 14. 108, **Littrow** in Zeitſchr. 4. 255., **Jacquin** ebend. n. F. 3. 57. **Stampfer** in Jahrb. des polyt. Inſt. Bd. 14, 108.) Statt Flintglas hat man mehrere Flüſſigkeiten in Vorſchlag gebracht, weil es ſchwer hält, große und doch homogene Flintglasſtücke zu erhalten. Schwefelkohlenſtoff ſcheint ſich am beſten hierzu zu eignen, wiewohl Flüſſigkeiten überhaupt gegen ſich haben, daß ſie ſo leicht verdünſten und ſich ungleich erwärmt in Schichten von verſchiedener Dichte abſondern.

271. Außer der Brechung des Lichtes bei dem Durchgange durch Linſen hat noch die Brechung und Reflexion deſſelben im Innern einer Kugel für den Phyſiker, wegen der Anwendung auf die Erklärung des Regenbogens einen höheren Grad von Wichtigkeit. Es ſey SA (Fig. 307) ein Lichtſtrahl, welcher bei A eine Kugel aus einem durchſichtigen Stoffe trifft. Ein Theil des Lichtes wird daſelbſt reflectirt; ein anderer dringt in die Kugel nach der Richtung AB ein. Hievon tritt wieder ein Theil bei B aus der Kugel, ein anderer aber wird nach BC reflectirt, der ſeinerſeits einen reflectirten und einen nach CO austretenden Strahl liefert. Wir wollen das auf ſolche Weiſe nach zwei Brechungen und einer Reflexion aus der Kugel gehende Licht näher unterſuchen. Verlängert man OC bis dieſe Richtung jener von SA in E begegnet, ſo liegen die Puncte E und B in einer Geraden, die durch den Mittelpunct K der Kugel geht. Denn es ſind nach dem Reflexionsgeſetze die Winkel ABK, CBK einander gleich; zieht man nun KAx, KCy, ſo ſind auch die Winkel KAB und KCB, welche den erſtgenannten gleichkommen, einander gleich, folglich nach dem Refractionsgeſetze (251. 3) auch die Winkel SAx, Ocy, mithin hat man auch $KAE = KCE$. Hieraus und aus $KAB = KCB$ folgt die Richtigkeit der ſo eben ausgeſprochenen Behauptung. Setzt man den Einfallswinkel $SAx = \alpha$, den Brechungswinkel $KAB = \beta$, und die Hälfte des Winkels SEO nämlich $AEK = \omega$, ſo hat man wegen $AEK = ABK - BAE = ABK - (KAE - KAB)$ folglich

$\omega = \beta - (\alpha - \beta) = 2\beta - \alpha$. Betrachten wir einen andern ſehr nahe an A und parallel zu SA in der Ebene SEO einfallenden Strahl, ſo wird für dieſen im Allgemeinen ω einen anderen Werth erhalten, die Richtung des austretenden Strahles wird daher jene des benachbarten CO ſchneiden, und befindet ſich in O ein Auge, ſo wird dieſem das Licht von dem Durchſchnittspuncte beider Strahlen herzukommen ſcheinen. Die Folge dieſer Durchſchnittspuncte für alle möglichen in der Ebene SEO mit SA parallel auf die Kugel fallenden und auf gleiche Weiſe gebrochenen und reflectirten Paare einander nächſter Strahlen bildet eine eigene krumme Linie, welche als eine Brennlinie zu betrachten iſt. Es gibt aber unter dieſen ſolche Strahlen, welche gleichfalls parallele austretende Strahlen liefern, woraus folgt, daß dieſe Brennlinie eine Aſymptote habe. Um den Einfallswinkel α und den Ablenkungswinkel ω für dieſe Strahlen kennen zu lernen, bedenke man daß in Bezug auf dieſelben der Winkel ω ſich nicht ändert, wenn α um eine ſehr kleine Größe α' und in Folge deſſen β um eine ſehr kleine Größe β' geändert wird. Man hat alſo $\omega = 2(\beta + \beta') - (\alpha + \alpha')$. Da aber $\omega = 2\beta - \alpha$ iſt, ſo folgt hieraus $2\beta' - \alpha' = 0$ oder $2\beta' = \alpha'$. Es ſey nun n das Brechungsverhältniß, alſo $\sin\alpha : \sin\beta = n : 1$ oder $\sin\alpha = n \sin\beta$, ſo muß auch $\sin(\alpha + \alpha') = n \sin(\beta + \beta')$ ſeyn. Dieß gibt, weil man wegen der Kleinheit von α' und β', $\sin\alpha' = \alpha'$, $\sin\beta' = \beta'$ und $\cos\alpha' = 1$, $\cos\beta' = 0$ ſetzen darf, nach der Entwicklung von $\sin(a + \alpha')$ und $\sin(\beta + \beta')$ mittelſt der bekannten Formel

$$\sin\alpha + \alpha' \cos\alpha = n(\sin\beta + \beta' \cos\beta) \text{ mithin } \alpha' \cos\alpha = n\beta' \cos\beta$$

alſo mit Rückſicht auf die Gleichung $2\beta' = \alpha'$, $2\cos\alpha = n\cos\beta$. Somit iſt $\sin\alpha^2 + 4\cos\alpha^2 = n^2(\sin\beta^2 + \cos\beta^2) = n^2$ oder

$$1 + 3\cos\alpha^2 = n^2, \text{ folglich } \cos\alpha = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}}.$$

Hiernach läßt ſich der Werth von α, und mittelſt der Gleichungen $\cos\beta = \frac{2}{n}\cos\alpha$ und $\omega = 2\beta - \alpha$ auch ω finden. Von dieſen parallel austretenden Strahlen wird ein Auge ſtärker getroffen als von den übrigen, daher man dieſelben vorzugsweiſe die *wirkſamen* Strahlen nennt. Enthält SA weißes Licht, ſo nehmen die den verſchiedenen farbigen Beſtandtheilen deſſelben entſprechenden wirkſamen Strahlen wegen der Verſchiedenheit des Werthes von n einen verſchiedenen Weg, und es bildet ſich demnach ein Spectrum. Hiernach kann man ſich den Farbenwechſel einer ſoliden oder einer mit Waſſer gefüllten hohlen Glaskugel erklären, wenn dieſelbe in verſchiedene Höhen geſtellt und von der Sonne beleuchtet wird, eben ſo die Farben der in der Luft ſchwebenden Waſſertropfen in der Nähe des Strahles eines Springbrunnens, wenn Sonnenlicht darauf fällt und von dieſen Tropfen in das Auge des Beobachters gelangt.

In der Nähe dieſer wirkſamen Strahlen wechſelt die Intenſität des Lichtes, indem ſie durch mehrere Maxima und Minima hindurch geht, auf ähnliche Weiſe wie in den Beugungserſcheinungen. Dieß läßt ſich mit Hülfe der Undulationstheorie nachweiſen, indem man das Zuſammen-

wirken der Elementarwellen zu einer wirkſamen Welle dem Calcul unterwirft, woraus zugleich die Unzulänglichkeit der, lediglich auf die Emanationshypotheſe gegründeten ſogenannten geometriſchen Optik zur Behandlung ſolcher Probleme erhellet (Airy in Pogg. Ergänzbd. 1. 232).

272. Aehnliche Betrachtungen ſind auf die Strahlen anwendbar, welche erſt, nachdem ſie bei C reflectirt worden, bei D (Fig. 308) aus der Kugel heraustreten. Bezeichnet man wieder die Winkel SAx, KAB, SEO mit α, β, 2ω, ſo hat man $KEA = EAx - AKE$, $AKE = 180^\circ - AKB - BKL = 180^\circ - (180^\circ - 2\beta) - (90^\circ - \beta) = 3\beta - 90^\circ$ mithin $\omega = \alpha - 3\beta + 90^\circ$. Auf dem in 271 betretenen Wege findet man $\alpha' = 3\beta'$, $3 \cos\alpha = n \cos\beta$, woraus man mittelſt der Gleichung $\sin\alpha = n \sin\beta$, nach einer leichten Rechnung

$$\cos\beta = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{8}}$$ erhält.

273. Nach den Geſetzen der einfachen Brechung des Lichtes laſſen ſich überhaupt alle Erſcheinungen erklären, welche ſich einſtellen, ſo oft Lichtſtrahlen aus verſchiedenartigen Subſtanzen, oder ſelbſt durch Luftſchichten von ungleichförmiger Dichte in unſer Auge kommen. Dergleichen ſind: daß ein Gefäß minder tief erſcheint, wenn es Waſſer enthält, als wenn es leer iſt; daß man einen ins Waſſer getauchten Stab verkürzt oder gebrochen ſieht; daß ein Gegenſtand im Waſſer größer, und durch ein Rautenglas angeſehen vervielfältigt erſcheint. Auch folgende, ſehr intereſſante Erſcheinungen erklären ſich aus den angeführten Brechungsgeſetzen (251) durch einfache Schlüſſe: Gießt man in ein gläſernes, ſchmales und ziemlich langes Gefäß Waſſer, und hierauf mittelſt einer bis auf den Boden des Gefäßes reichenden Röhre Schwefelſäure, die ſich ſehr langſam mit dem Waſſer miſcht, und daher Schichten bildet, welche von unten nach oben allmälig an Dichte abnehmen, und ſieht hierauf durch die Flüſſigkeit nach der Länge des Gefäßes auf einen leuchtenden Gegenſtand; ſo bemerkt man ihn doppelt. Dasſelbe erfolgt auch, wenn man einen Gegenſtand ſo anſieht, daß das Licht, welches von ihm ins Auge kommt, durch Luftſchichten gehen muß, die durch ein glühendes Eiſen oder durch einen von der Sonne beſchienenen, ſchwarzen Körper verſchieden erwärmt werden. Einen gleichen Grund hat auch das ſcheinbare Zittern der Gegenſtände, welche man längs einem von der Sonne erhitzten Dache ꝛc. anſieht. Berückſichtiget man noch dabei, daß weißes oder zuſammengeſetztes Licht bei der Brechung in ſeine farbigen Beſtandtheile zerfällt, ſo wird man alle die Erſcheinungen zu deuten wiſſen, welche man wahrnimmt, wenn man einen Körper durch ein Prisma anſieht, z. B. warum ein ſchwarzes Quadrat auf weißem Grunde an einem Ende roth, am anderen blau und violett erſcheint; warum ein ſchmaler, weißer Papierſtreifen durch das Prisma aus mehreren gefärbten, parallelen Streifen beſtehend erſcheint; warum ſich ein breiter Streifen nur am Rande gefärbt, in der Mitte weiß zeigt u. ſ. w. Aus der totalen Reflexion des Lichtes erklärt es ſich, warum man Gegenſtände unter der

Baſis eines Prisma's bei tieferer Stellung des Auges nicht ſieht; warum man, wenn dieſe Baſis durch Wolkenlicht beleuchtet wird, auf ſelber einen blauen Bogen ſieht, deſſen Concavität gegen das Auge gekehrt iſt und innerhalb deſſen der dunklere, außerhalb deſſen aber der viel hellere Theil dieſer Baſis ſich befindet u. ſ. w.

Da das Brechungsvermögen eines Stoffes von ſeiner chemiſchen Beſchaffenheit abhängt, ſo kann es als Merkmal zur Beſtimmung deſſelben dienen. So ändert z. B. die geringſte Beimiſchung von Weingeiſt zu Waſſer das Brechungsvermögen der Flüſſigkeit. Steinheil hat einen Apparat conſtruirt, mittelſt deſſen nicht nur dieſe Aenderung ſenſibel gemacht wird, ſondern ſelbſt der Alkoholgehalt eines geiſtigen Getränkes ſich angeben läßt.

Auch die Interferenz des Lichtes läßt ſich mit Hilfe der Brechung darſtellen. Man bedient ſich dazu eines dreiſeitigen Prisma's mit einem ſehr ſtumpfen Winkel, worauf man von einem Puncte oder von einer der Kante dieſes Winkels parallelen Linie Licht fallen läßt. Es zeigen ſich da, wenn man durch das Prisma gegen die Lichtquelle hinſieht, zwei leuchtende Puncte oder Linien, und wenn man die Vereinigungsſtelle der dieſen entſprechenden Strahlen mittelſt eines Vergrößerungsglaſes unterſucht, erblickt man ein Syſtem von Interferenzlinien. Iſt nämlich L M N (Fig. 309) der Durchſchnitt des Prisma's, deſſen Flächenwinkel bei L und M einander gleich und ſehr ſpitzig ſind, S der leuchtende Punct, welcher ſo ſtehe, daß die Gerade S N, die von ihm zur ſtumpfen Kante N geht, die L M ſenkrecht durchſchneidet, ſo werden zwei Strahlen wie S A, S B bei ihrem Austritte an den Flächen L N, M N dergeſtalt gebrochen, daß ſie ſich in l durchkreuzen. Befindet ſich dieſer Punct innerhalb der Brennweite eines Sammelglaſes, zu welchem die genannten Strahlen nach ihrer Durchkreuzung gelangen, ſo werden ſie nach der Brechung von einem entfernteren, in der von der Mitte der Linſe durch l geführten Geraden liegenden Puncte herzukommen ſcheinen, und hat die Linſe eine ſolche Stellung gegen das hinter ihr befindliche Auge, daß letzterer Punct in der Sehweite deſſelben liegt, ſo wird das Auge den Erfolg der in l vor ſich gehenden Interferenz der Strahlen A l, B l wahrnehmen. Iſt die Entfernung des leuchtenden Punctes S vom Prisma nicht zu gering, ſo ſcheinen alle durch die Flächen L N, M N austretenden Strahlen nahe von zwei Puncten S′, S″ herzukommen, die ſich alſo wie Bilder von S verhalten. Um die vortheilhafteſte Stellung des Auges gegen die Linſe zu erkennen, ſeyen S′, S″, Fig 310, die letztgenannten Puncte und H K die Linſe. Betrachtet man S′S″ wie einen leuchtenden Gegenſtand, ſo wird von dieſem ein Bild s′s″ hinter der Linſe entſtehen, welches man ohne merklichen Fehler findet, wenn man von S′ und S″ durch die Mitte der Linſe die Hauptſtrahlen S′E, S″E zieht, und auf deren Verlängerungen E s′ und E s″ der Brennweite der Linſe gleich annimmt. Jeder von S′ kommende Strahl S′F geht demnach durch s′, und jeder von S″ kommende S″G geht durch s″. Nimmt demnach die Pupille des Auges den Ort s′s″ ein, ſo iſt es an der vortheilhafteſten Stelle, denn es empfängt die möglich größte Menge der ſich interferirenden Strahlen. Liegt der Durchſchnittspunct l′ der Richtungen s′F, s″G in der Sehweite, ſo ſind es gerade die Strahlen S′F, S″G, deren in l vor ſich gehende Interferenz die Erſcheinung bedingt, die das Auge in l′ ſieht. Die mit der Brechung des Lichtes im Prisma verknüpfte Farbenzerſtreuung bringt eine Färbung der Interferenzſtreifen hervor, welche man bei Anwendung der Spiegel (242) vermeidet. Deßhalb, und weil man durch Aenderung des Winkels der Spiegelflächen eine Mannig-

faltigkeit der Erſcheinung hervorrufen kann, die das Prisma nicht geſtattet, hat der Spiegelapparat vor dieſem einen Vorzug.

Läßt man einen der beiden interferirenden Lichtbündel durch ein ſehr dünnes Plättchen aus einer durchſichtigen Subſtanz gehen, z. B. durch ein Glimmerplättchen, ſo findet, wie Arago zuerſt beobachtet hat, in Folge der Verzögerung, die das Licht bei dem Durchgange erleidet, eine Verſchiebung des Interferenzſpectrums nach der Seite des betreffenden Strahles hin Statt. Man ſieht dieſes Phänomen am beſten bei Anwendung einer Doppelſpalte (229), die man vor das Objectiv eines Fernrohres ſetzt. Da rücken, wenn eine der Spalten durch das Glimmerblatt gedeckt wird, die Interferenzlinien in das ſeitwärts liegende Beugungsſpectrum hinein. Aus dieſer Verſchiebung läßt ſich die Verzögerung des Lichtes in dem Plättchen berechnen, und wenn die Dicke des Plättchens bekannt iſt, auch der Brechungsexponent deſſelben beſtimmen. Dieſe Methode eignet ſich vornehmlich zur Vergleichung des Brechungsvermögens der Gaſe.

Fünftes Kapitel.

Doppelte Brechung des Lichtes.

274. Im ſiebzehnten Jahrhundert entdeckte Bartholin in Kopenhagen an einem Kryſtall von kohlenſaurem Kalk oder Kalkſpath, der wegen ſeines häufigen Vorkommens in Island isländiſcher Kryſtall genannt wird, die merkwürdige Eigenſchaft, Gegenſtände, welche durch ihn angeſehen werden, doppelt zu zeigen. Man heißt ihn daher und wegen ſeines blättrigen Gefüges auch isländiſchen Doppelſpath. Bartholin überzeugte ſich bald, daß dieſe Erſcheinung durch eine eigenthümliche Einwirkung des Kryſtalles auf das Licht hervorgebracht werde, und ſuchte die Geſetze derſelben näher zu beſtimmen. Es war aber erſt Huyghens vorbehalten, dieſe Geſetze ſo genau darzuſtellen, daß ſelbſt Wollaſton, Malus, Biot und Fresnel mit allen Hilfsmitteln, die ihnen ihr Genius und die Fortſchritte der Wiſſenſchaft darboten, nur Kleinigkeiten daran zu berichtigen vermochten. — Der Doppelſpath erſcheint gewöhnlich als eine von ſechs rhomboidalen Flächen begrenzte Theilgeſtalt. Da ſein Blätterdurchgang mit ſeinen Flächen parallel iſt, ſo läßt ſich durch zweckmäßiges Spalten ein Rhomboeder (Fig. 311) daraus gewinnen, welches demnach ſeine Kerngeſtalt iſt. An dieſer Geſtalt kommen zwei einander entgegengeſetzte Ecken A und B vor, deren jede von drei gleichen, ſtumpfen Winkeln gebildet wird, deren Ebenen gegen einander gleich geneigt ſind; an jeder der ſechs übrigen Ecken finden ſich ein ſtumpfer und zwei einander gleiche ſpitzige ebene Winkel, und bloß zwei der drei Kantenwinkel ſind gleich. Wir wollen erſtere Ecken die ſtumpfen, die andern die ſpitzigen nennen. Die Linie AB, welche mit den drei Kanten der ſtumpfen Ecke gleiche Winkel macht, iſt die Axe des Körperwinkels A. Sie fällt mit der durch die ſtumpfen Ecken des Rhomboeders gehenden Diagonale, welche die kryſtallographiſche Hauptaxe dieſer Geſtalt iſt, zuſammen. Die Axen aller rhomboedriſchen Theilungs-

geſtalten, welche man ſich in einem Doppelſpathſtücke denken mag, ſind einander parallel; jede derſelben ſtellt ſich auch in optiſcher Hinſicht als eine Hauptlinie dar, und wird Axe der doppelten Brechung genannt. Demnach entſpricht jedem Puncte eines Doppelſpathſtückes eine ſolche Axe. Eine Ebene, welche der gemeinſchaftlichen Richtung der Axen parallel iſt und auf einer (natürlichen oder künſtlichen) ein Doppelſpathſtück begrenzenden Fläche normal ſteht, heißt ein Hauptſchnitt. Dieſer Begriff findet auch bei andern durchſichtigen Körpern Anwendung, denen eine Axe der doppelten Brechung zukommt.

275. Wenn man ein Papier mit einer kleinen Oeffnung verſieht, und es auf eine Fläche des Doppelſpathes legt, dann durch die Oeffnung einen Lichtſtrahl leitet; ſo bemerkt man, daß derſelbe im Kryſtalle in zwei Bündel getheilt werde, d. h. die doppelte Brechung erleide. Noch beſſer ſieht man dieſes mit einem dreiſeitigen Prisma aus Doppelſpath, das zugleich ein zweifaches Farbenbild gibt. Eine genaue Betrachtung des Ganges der beiden Strahlen, welche aus einem nach verſchiedenen Richtungen auf den Doppelſpath fallenden Lichtſtrahle entſpringen, lehrt, daß einer derſelben ſich nach den gewöhnlichen Brechungsgeſetzen richte, und zwar der Sinus ſeines Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels ſich verhalte wie 1,6543 zu 1, oder wie 1 zu 0,6045, während der zweite andere Brechungsgeſetze befolgt. Deßhalb heißt erſterer der gewöhnlich gebrochene oder ordentliche, letzterer der ungewöhnlich gebrochene oder außerordentliche Strahl.

Um die Geſetze der doppelten Brechung in dieſem Körper zu unterſuchen, empfiehlt Malus ein rechtwinkliges, auf Papier oder Elſenbein verzeichnetes Dreieck ABC (Fig. 312), deſſen Seite BC viel kleiner iſt als AC. Sieht man dieſes durch einen Doppelſpath an, ſo erſcheint es doppelt, und es wird das ungewöhnliche Bild A′C′ der Seite AC, die Hypotenuſe AB in D′ ſchneiden. Nimmt man nun AD = A′D′, ſo iſt klar, daß ein Strahl von D und einer von D′ beim Ausfahren aus dem Kryſtalle in die Luft ſich zu einem einzigen Strahle vereinigen; deßhalb müßte aber auch ein Strahl, der vom Auge auf den Kryſtall fiele, in zwei Bündel zerlegt werden, wovon eines nach D′, das andere nach D ginge. Da nun die Lage von D gegen D′, die Dicke des Kryſtalles und die Lage von AC gegen den Hauptſchnitt gegeben iſt; ſo braucht man nur noch den Einfallspunct I des Strahles und ſeine Neigung gegen MN zu wiſſen, um den Erfolg der Brechung genau angeben zu können.

276. Durch zweckmäßig eingeleitete Beobachtungen überzeugt man ſich, daß die ungewöhnliche Brechung des Lichtes im Doppelſpathe nach folgenden Geſetzen vor ſich gehe: 1) Fällt ein Lichtſtrahl ſenkrecht auf eine Theilungsfläche des Doppelſpathes, wobei der gewöhnlich gebrochene Theil deſſelben in unveränderter Richtung fortgeht, ſo wird der ungewöhnlich gebrochene um den Winkel von 6° 12′ 38″ gegen den ſpitzigen Winkel des Rhomboeders abgelenkt, doch ſo, daß er in dem durch den Einfallspunct geführten Hauptſchnitte liegt. 2) Fällt ein Strahl ſchief ein, jedoch ſo, daß ſeine Einfallsebene die Lage eines Hauptſchnittes hat, ſo bleibt auch der ungewöhnlich gebrochene Strahl

in dieſer Ebene, allein der Sinus des Einfallswinkels ſteht zum Sinus des Brechungswinkels in keinem conſtanten Verhältniſſe, ſondern dieſes ändert ſich mit dem Einfallswinkel; iſt die Einfallsebene gegen den Hauptſchnitt geneigt, ſo tritt der ungewöhnliche Strahl überdieß noch aus der Einfallsebene heraus, und wird gleichſam vom Hauptſchnitte weggetrieben, und zwar deſto mehr, je mehr ſich der Winkel, den die Einfallsebene des Strahles mit dem Hauptſchnitte macht, einem rechten nähert. Iſt dieſer Winkel ein rechter, ſo bekommt dieſe Ablenkung vom Hauptſchnitte ihren größten Werth; dasſelbe zeigt ſich auch im Allgemeinen, wenn die Fläche des Doppelſpathes, welche das einfallende Licht trifft, keine natürliche Theilungsfläche, ſondern eine durch Anſchleifen des Kryſtalles erzeugte iſt. 3) Schleift man vom Kryſtalle ſolche Stücke weg, daß auf der Axe des Kryſtalles ſenkrechte Ebenen entſtehen, ſo wird ein Strahl, der ſenkrecht darauf fällt, weder in zwei Bündel geſpalten, noch überhaupt gebrochen. Schief einfallende Strahlen erleiden eine doppelte Brechung; da aber hier jede Einfallsebene eine Hauptſchnittsebene iſt, ſo bleibt der ungewöhnlich gebrochene Strahl ſtets in derſelben. 4) Iſt die künſtlich erzeugte Fläche des Doppelſpathes, auf die der Strahl fällt, der Axe des Kryſtalles parallel, und macht die Einfallsebene mit der Axe einen rechten Winkel, ſo gehorcht auch der ſonſt ungewöhnlich gebrochene Strahl den gewöhnlichen Brechungsgeſetzen; er bleibt nicht nur in der Einfallsebene, ſondern es verhält ſich auch der Sinus des Einfallswinkels zu dem Sinus des Brechungswinkels ſtets wie 1,4833 zu 1 oder wie 1 zu 0,6742. Dieſes Verhältniß meint man, wenn von dem Brechungsverhältniſſe des ungewöhnlichen Strahles im Doppelſpathe die Rede iſt.

277. Die Beſonderheiten der Brechung des Lichtes im Doppelſpathe laſſen ſich aus der Undulationstheorie vollſtändig erklären. Es gehört nämlich der Doppelſpath zu den Kryſtallen, welche zwar nach verſchiedenen Richtungen eine verſchiedene Elaſticität zeigen, aber deren Theilchen, und dieſen gemäß auch die Theilchen des Aethers, doch ſo angeordnet ſind, daß längs allen auf eine Axe, die mit der vorgenannten optiſchen Axe übereinſtimmt, ſenkrechten Richtungen einerlei Fortpflanzungsgeſchwindigkeit gleichartiger Schwingungsweiſen obwaltet. Solcher Schwingungsweiſen kommen hier zweierlei in Betrachtung, deren jeder eine eigene Wellenfläche entſpricht. Die eine iſt eine Kugelfläche; die andere aber ein mit dieſer concentriſches Rotationsellipſoid, deſſen Rotationsaxe die Lage der optiſchen Axe des Doppelſpathes hat, die kleinere Axe der erzeugenden Ellipſe iſt, und mit dem Durchmeſſer der correſpondirenden Kugelwelle übereinſtimmt, ſo daß die Kugel das Ellipſoid an den Endpuncten der Rotationsaxe berührt. Trifft nun eine Folge von Aetherwellen die Fläche eines Doppelſpathes, ſo gehen von allen Puncten dieſer Fläche als Mittelpuncten ſowohl kugelförmige, als ellipſoidiſche Wellen in das Innere des Doppelſpathes. Die erſteren, deren Fortpflanzungsgeſchwindigkeit ſich zu jener der Aetherwellen in der Luft verhält wie 0,6045 : 1, begründen

das gewöhnlich gebrochene Licht; die andern, deren Fortpflanzungsgeſchwindigkeit im Sinne der optiſchen Axe die vorgenannte iſt, ſenkrecht darauf aber ſich zur Geſchwindigkeit des Lichtes in der Luft wie 0,6742 : 1 verhält, begründen das ungewöhnlich gebrochene Licht. Um den Gang des letztern zu finden, haben wir bloß die in 254 gewieſene Methode gehörig zu generaliſiren.

278. Wir wollen zuerſt annehmen, daß die Einfallsebene des Strahles AB (Fig. 313) zugleich eine Hauptſchnittsebene des Doppelſpathes ſey, d. i. die Axe deſſelben in ſich enthalte, welche die Lage Bz habe. Man beſchreibe in dieſer Ebene aus B als Mittelpunct mit einem beliebigen Halbmeſſer BF, wie in 252 einen Halbkreis, zugleich conſtruire man eine Ellipſe, deren Mittelpunct B iſt, deren eine Hauptaxe in die Bz, mithin deren andere Hauptaxe in die auf Bz ſenkrechte Bx fällt, und nehme die Dimenſionen derſelben ſo an, daß wenn BU, BV die Hälften dieſer Axen ſind, die Proportion

$$BU : BV : BF = 0,6045 : 0,6742 : 1$$

Statt findet. Iſt nun AB die Richtung eines einfallenden Lichtſtrahles, ſo verlängere man dieſelbe (ſ. 252), bis ſie den Halbkreis in H ſchneidet; ziehe zu H die Tangente HK, und von dem Durchſchnittspuncte K der letzteren mit der MN zur Ellipſe die Tangente KL. Die Gerade BLE, welche durch B und den Berührungspunct L dieſer Tangente geht, iſt die Richtung des zum einfallenden Strahle AB gehörenden ungewöhnlich gebrochenen Strahles. Man erhält ſogleich auch die Richtung des gewöhnlich gebrochenen Strahles, wenn man aus B mit dem Halbmeſſer BU (der kleinen Halbaxe der Ellipſe, welche zu BF ſich verhält wie 0,6045 zu 1) in Folge des oben angegebenen Verfahrens einen Halbkreis beſchreibt, und aus K zu ihm eine Tangente führt. Der Berührungspunct L′ derſelben beſtimmt die Richtung des gewöhnlich gebrochenen Strahles.

279. Stimmt die Einfallsebene des Strahles AB (Fig. 314) nicht mit einer Hauptſchnittsebene des Doppelſpathes überein, ſo befindet ſich die Axe der doppelten Brechung Bz außerhalb der Einfallsebene. In dieſem Falle beſchreibe man wie früher (278) in der Einfallsebene mit einem beliebigen Halbmeſſer BF einen Halbkreis, und in einer willkürlichen durch die Axe Bz gelegten Ebene die vorhin erwähnte Ellipſe mit denſelben Abmeſſungen wie in 278. Stellt man ſich jetzt vor, dieſe Ellipſe drehe ſich um die feſte Linie Bz, ſo entſteht das oben erwähnte Ellipſoid. Hat man nun für den einfallenden Strahl AB durch den Punct H, in dem ſeine Verlängerung den Halbkreis trifft, die Tangente HK gezogen, und den Durchſchnittspunct derſelben mit der Fläche MN des Doppelſpathes beſtimmt, ſo ziehe man durch dieſen Punct K die auf die Einfallsebene ſenkrechte Gerade KR (oder was daſſelbe heißt, in der Ebene der vom Lichte getroffenen Doppelſpathfläche auf die MN, als Durchſchnitt der Einfallsebene mit dieſer Fläche, durch K eine Senkrechte), und lege durch KR zu dem Ellipſoide eine tangirende Ebene. Der Punct L, in welchem die Berührung Statt findet, liegt in dem zu AB gehörenden ungewöhnlich ge-

brochenen Strahle, wodurch die Richtung B L E deſſelben bekannt iſt. Beſchreibt man mit dem Halbmeſſer B F eine Halbkugel, ſo iſt K R die Durchſchnittslinie der zu H gelegten Berührungsebene der Halbkugel mit der Doppelſpathfläche, die vom Strahle A B getroffen wird, welche Bemerkung auch dienen kann, die Lage von K R zu finden. Dieſe allgemeine Conſtruction enthält, wie man leicht ſieht, diejenige, welche dem in einer Hauptſchnittsebene einfallenden Lichte entſpricht, als beſondern Fall in ſich. Aus ihr folgt auch die in 276 4) angeführte Eigenthümlichkeit der ungewöhnlichen Brechung des Lichtes im Doppelſpathe. Steht nämlich die Einfallsebene auf der Richtung der Axe der doppelten Brechung ſenkrecht, ſo wird das Ellipſoid von ihr in einem Kreiſe geſchnitten, deſſen Halbmeſſer der größeren Halbaxe der das Ellipſoid erzeugenden Ellipſe gleich kommt, und der die Lage des ungewöhnlich gebrochenen Strahles beſtimmende Berührungspunct befindet ſich ſtets in der Einfallsebene. Daher ſtimmt hier die ungewöhnliche Brechung mit der gewöhnlichen überein, nur iſt der Brechungsexponent dem reciproken Werthe der größeren Halbaxe der Ellipſe gleich.

Aus den Geſetzen der ungewöhnlichen Brechung läßt ſich von allen Erſcheinungen am Doppelſpathe auf das Genaueſte der Grund angeben. Iſt z. B. A B C D (Fig. 315) ein Hauptſchnitt des Kryſtalles, S ein leuchtender Punct, ſo wird unter den Strahlen, die er auf C D ſendet, einer ſeyn, deſſen gewöhnlich gebrochener Theil F G das Auge O trifft, während ſein ungewöhnlich gebrochener Antheil F g x für dasſelbe verloren geht; dafür wird es aber einen andern Strahl S H geben, deſſen ungewöhnlich gebrochener Theil H I nach O gelangt, deſſen ordentlich gebrochener H i y aber ſeitwärts vorbeigeht. Das Auge ſieht daher den Punct S zweimal und zwar in den Verlängerungen von O G und O I. Das durch den ordentlich gebrochenen Strahl entſtandene Bild wird von D weiter entfernt ſcheinen, als das vom ungewöhnlich gebrochenen gemachte, weil ſich die Strahlen in K kreuzen. Aus dieſer Durchkreuzung erklärt ſich auch folgende Erſcheinung: Hält man einen isländiſchen Kryſtall ſehr nahe ans Auge, und ſieht damit auf einen Punct ſo, daß man ihn doppelt wahrnimmt, fährt dann mit einem Stückchen Papier längs der untern Fläche hin; ſo wird derjenige Punct zuerſt verdeckt erſcheinen, der vom Papier am weiteſten abſteht. Auf gleiche Weiſe erklärt man, warum eine mit dem Hauptſchnitte parallele Linie einfach geſehen werden kann; warum ſich ihr außerordentliches Bild vom ordentlichen entfernt, wenn man den Kryſtall aus dieſer Lage um eine, auf die geſehene Linie ſenkrechte Axe dreht; warum überhaupt bei dieſem Drehen das außerordentliche Bild ſich um das ordentliche bewegt u. dgl. m.

Setzt man zwei gleiche dreiſeitige Prismen A B C und B D C (Fig. 316) aus Doppelſpath zuſammen, die ſo geſchnitten ſind, daß die Brechungsaxe im erſten auf A B ſenkrecht iſt, im zweiten hingegen mit der Kante C parallel lauft; ſo wird ein Lichtſtrahl S F, der ſenkrecht auf A B fällt, im erſten Prisma weder geſpalten, noch überhaupt von ſeinem Wege abgelenkt. So wie er aber G trifft, wird ein Theil davon gerade nach H fortgehen, der andere hingegen die ungewöhnliche Brechung erleiden und die Richtung G I K annehmen. Befindet ſich nun in H das Auge, ſo bekommt es nur den Theil G H des Lichtſtrahles S F, dafür erhält es aber von einem andern Strahle S′ F′ den ungewöhnlich gebrochenen Antheil G′ I′ H. Wenn auch beide Strahlen von

demſelben Puncte ausgegangen ſind, ſo ſieht doch das Auge zwei Bilder, und zwar eines nach HS', das andere nach HS''. Dieſe zwei Bilder ſtehen bei übrigens gleichen Umſtänden deſto mehr von einander ab, je näher ſich das Auge am Prisma befindet; bei einer beſtimmten Entfernung des Auges vom Prisma werden ſie ſich am Rande berühren. Dieſe Zuſammenſetzung machte zuerſt Rochon, und benützte ſie zu einem Mikrometer für Fernröhre. Wird nämlich ein auf die beſchriebene Weiſe verfertigtes Prisma zwiſchen dem Objectiv eines Fernrohres und ſeinem Brennpuncte angebracht, ſo ſieht man das Object doppelt, und die beiden Bilder ſtehen deſto weiter von einander ab, je weiter das Mikrometerprisma von dem durch das Objectiv gemachten Bilde entfernt iſt; bei einem beſtimmten Stande des Prisma's werden ſich aber beide Bilder am Rande berühren, und dieſer Ort wird deſto mehr von den Bildern entfernt ſeyn, je größer dieſelben ſind. Daher wird man daraus auf die ſcheinbare, und mittelſt bekannter Entfernung des Objectes auf die wirkliche Größe des Objectes ſchließen können.

280. Da die Reflexion und Brechung des Lichtes an der Grenze eines durchſichtigen Mediums auf einerlei Grunde, nämlich auf der Erſchütterung der Grenztheilchen des Aethers beruhen, von welchen als Mittelpuncten neue Wellen ſowohl in das eine, wie in das andere Medium ausgehen, ſo iſt klar, daß ein im Doppelſpathe fortgepflanzter, an die Begrenzung deſſelben gelangender Lichtſtrahl im Allgemeinen zwei verſchiedene Wellenreihen, und ſomit auch zwei reflectirte Strahlen liefern müſſe. Verzeichnet man nach einem willkürlichen Maßſtabe die dem Einfallspuncte als Mittelpuncte entſprechende kugelförmige und die dazu gehörende ellipſoidiſche Wellenfläche, ſo kann man, wenn der einfallende Strahl AB (Fig. 317) nicht ein durch ordentliche Brechung entſtandener iſt, den ihm zugehörigen ordentlichen Strahl A'B finden, d. h. denjenigen, der als ordentlicher Strahl aus einem von außen kommenden Strahle DB, welcher durch Brechung den Strahl BA liefern würde, entſtehen müßte. Conſtruirt man nun nach dem gewöhnlichen Reflexionsgeſetze für A'B die Richtung BF des reflectirten Strahles, und ſucht man nach der oben angedeuteten Methode die Richtung BE des zu BF gehörenden ungewöhnlichen Strahles, ſo ſind BE und BF die beiden Strahlen, welche in Folge der innern Reflexion an der Doppelſpathfläche entſtehen. Die Richtigkeit dieſes Verfahrens läßt ſich nach dem bereits Vorgetragenen leicht einſehen.

281. Was hier vom Kalkſpathe gelehrt wurde, iſt mit den ſogleich näher zu bezeichnenden Abänderungen auf das Verhalten des Lichtes in allen zu dem rhomboedriſchen und pyramidalen Syſteme gehörenden kryſtalliſirten Körpern anwendbar. Alle dieſe Körper brechen nämlich das Licht doppelt, einer der gebrochenen Strahlen gehorcht dem gewöhnlichen Brechungsgeſetze; die Brechung des andern weicht davon ab, aber die Richtung deſſelben wird ganz nach der in 279 gewieſenen Conſtruction gefunden, nur die numeriſchen Werthe der Brechungsexponenten oder die Dimenſionen der Ellipſe, durch deren Rotation das die Richtung des ungewöhnlichen Strahles beſtimmende Wel-

lenellipſoid entſteht, variiren mit der materiellen Beſchaffenheit des Kryſtalles, und da zerfallen alle derlei Körper in zwei Klaſſen. Bei der einen, als deren Repräſentant der Doppelſpath gelten kann, iſt der Brechungsexponent für die ungewöhnliche Brechung bei Strahlen, welche gegen die Brechungsaxe, die hier zugleich die Kryſtallaxe iſt, geneigt einfallen, kleiner als jener für die gewöhnliche Brechung, die erwähnte Ellipſe rotirt um die kleinere Axe, es wird daher der ungewöhnlich gebrochene Strahl von der Axe gleichſam weggetrieben, abgeſtoßen. Bei Körpern der andern Klaſſe, zu denen der Bergkryſtall gehört, iſt für die gegen die Axe geneigten Strahlen der Brechungsexponent des ungewöhnlichen gebrochenen Strahles größer als jener des gewöhnlich gebrochenen, die Ellipſe rotirt um die mit der Axe der doppelten Brechung zuſammenfallende größere Hauptaxe, und der ungewöhnlich gebrochene Strahl wird zur Axe hingetrieben, angezogen. Man nennt darum die in die erſte Klaſſe gehörenden Körper abſtoßende, die in die zweite fallenden anziehende; oder weil man ſich vorſtellen kann, es beſtehe der Brechungsindex für den ungewöhnlich gebrochenen Strahl bei erſteren aus dem Brechungsindex für den gewöhnlich gebrochenen Strahl weniger einem mit der Neigung der Strahlen gegen die Axe veränderlichen Antheil, bei letzteren aus dem Brechungsindex für den gewöhnlichen Strahl mehr einem veränderlichen Antheile; ſo heißt man jene auch negative, dieſe poſitive. Es iſt aber überhaupt das Verhältniß der zwei Brechungsexponenten für die beiden, durch doppelte Brechung geſonderten Strahlenbüſchel, mithin auch die doppelt brechende Kraft nicht beſtändig, ſondern hängt von der Temperatur ab, und wird (nach Rudberg) kleiner, wenn die Tenperatur ſteigt. (Brewſter in Gilb. Ann. 69. 1; Biot ebend. 65. 1; Rudberg in Pogg. Ann. 26. 291.)

Bei dem Doppelſpathe iſt die Axe gegen die natürlichen Flächen des Kryſtalles ſtark geneigt, und die doppelte Brechung an und für ſich ſehr ſtark, darum bemerkt man ſie ſo leicht; bei den meiſten andern doppelt brechenden Körpern hat die Brechungsaxe eine zu den natürlichen Flächen parallele Lage, darum erleiden die auf ſolche Flächen ſenkrecht einfallenden Strahlen keine doppelte Brechung, ja ſelbſt ſchief einfallende werden in zwei ſo wenig divergirende Lichtbüſchel getheilt, daß ſich bei der meiſtens nur geringen Dicke der Kryſtalle die beiden durch doppelte Brechung entſtandenen Bilder faſt decken und als Ein Bild erſcheinen. Darum muß man ſolchen Kryſtallen, um ihre doppelte Brechung deutlich zu erkennen, künſtliche, gegen die Axe der doppelten Brechung geneigte Flächen geben. So bemerkt man am Bergkryſtalle, der als Combination eines ſechsſeitigen Prisma's und einer ſechsſeitigen Pyramide erſcheint (Fig. 318), keine Spur einer doppelten Brechung, wenn man einen Gegenſtand durch cdmn und ghry anſieht. Schleift man aber ghry ſo weg, daß eine mit cbd parallele Fläche entſteht, ſo erſcheint das Phänomen einer doppelten Brechung recht deutlich. An kleinen Stücken vieler doppelt brechenden Kryſtalle erkennt man ſelbſt dann, wenn ſie zweckmäßig geſchnitten ſind, das Phänomen der doppelten Brechung nur aus der Verdoppelung einer dadurch angeſehenen, ſcharfen Nadelſpitze, und auch dieß nur, wenn man ſich eines Fernrohres bedient.

In Betreff des Bergkryſtalles muß noch bemerkt werden, daß das Wellenellipſoid die zugehörende Kugel nicht berührt, ſondern die Axe desſelben kleiner iſt, als der Durchmeſſer der Kugel; denn ſelbſt parallel mit der Kryſtallaxe in dieſem Körper fortgepflanztes Licht iſt aus zwei Strahlen zuſammengeſetzt, deren Geſchwindigkeiten verſchieden ſind, und die ſich mit Hilfe eines ſpäter anzugebenden Kunſtgriffes ſondern laſſen.

282. Kryſtalle, deren Geſtalt zu einem der orthotypen (prismatiſchen) Syſteme gehört, brechen das Licht auch doppelt, aber nach ganz andern Geſetzen, als die vorhin betrachteten rhomboedriſchen und pyramidalen Körper. Es gibt in den orthotypen Kryſtallen zwei Richtungen, längs welchen keine doppelte Brechung erfolgt, und die deßhalb optiſche Axen heißen, während in den rhomboedriſchen und pyramidalen ſich bloß eine ſolche Axe vorfindet. Man nennt dem zu Folge die doppelt brechenden Körper erſterer Art auch zweiaxige, zum Unterſchiede von den andern, welche einaxige genannt werden. Dazu kommt noch der Umſtand, daß die Lage der optiſchen Axen in den zweiaxigen Kryſtallen für jede Gattung farbigen Lichtes eine andere iſt, und überdieß in manchen auffallend von der Temperatur des Körpers abhängt. Es können ſogar bei einer beſtimmten Temperatur zwei oder mehrere Paare dieſer Axen zuſammenfallen, daher die Körper für die betreffenden farbigen Strahlen zu den einaxigen gehören.

Guten Meſſungen zu Folge beträgt die Neigung der zwei Brechungsaxen bei Salpeter 5° 20′, bei blauſaurem Kali 19° 24′, bei Lepidolith 45°, bei Schwerſpath 50°, bei Topas 65°, bei ſchwefelſaurem Eiſen 90°. Die Axen des weinſauren Kalinatrums ſind für violettes Licht um 56°, für rothes um 76° gegen einander geneigt. Glauberit hat für rothes Licht zwei unter 5° gegen einander geneigte, für violettes aber nur eine Axe. Die Axen des Gipſes fallen bei 73½° R. zuſammen, bei einer höheren Temperatur gehen ſie in einer auf den Hauptſchnitt ſenkrechten Ebene aus einander; überdieß ſind dieſelben für die verſchiedenen Farben bei der gewöhnlichen Temperatur nach Nörrenbergs Erfahrung unſymmetriſch vertheilt (Pogg. Ann. 35, 81; 472). Wie am leichteſten über die Lage der Axen geurtheilt werden kann, wird erſt ſpäter erhellen.

283. In Kryſtallen mit zwei Brechungsaxen gibt es keine kugelförmige Lichtwelle, daher auch keinen gewöhnlich gebrochenen Strahl, ſondern jeder der zwei Theile, in welche ein einfallender Strahl getheilt wird, befolgt Geſetze, die von den gewöhnlichen abweichen; doch iſt dieſe Abweichung für einen dieſer zwei Theile nur gering, und iſt deßhalb überſehen worden, bis Fresnel's ſorgfältige, auf theoretiſche Gründe gebaute Unterſuchung das Vorhandenſeyn derſelben kennen lehrte. Wie Fresnel zeigte, kann die Lage der einem einfallenden Strahle entſprechenden gebrochenen Strahlen für zweiaxige Kryſtalle durch eine der in 279 gewieſenen ähnliche geometriſche Conſtruction gefunden werden, ſtatt eines Umdrehungs-Ellipſoides muß man aber dabei eine aus zwei Abtheilungen zuſammengeſetzte, ihrer Eigenthümlichkeiten wegen auch in rein geometriſcher Hinſicht merkwürdige Fläche, welche hier die Wellenfläche iſt, gebrauchen, deren Beſchaffenheit jedoch

auf elementarem Wege keiner vollſtändigen Auseinanderſetzung fähig iſt. Es genügt zu bemerken, daß wenn man durch die beiden Axen, die wir hier, von der Farbenzerſtreuung abſehend, auf Strahlen von mittlerer Brechbarkeit beziehen, eine Ebene legt, der Durchſchnitt dieſer Fläche einen Kreis und eine Ellipſe darſtellt, deren gemeinſchaftlicher Mittelpunct (Fig. 319) mit jenem der Fläche zuſammenfällt. Die Hauptaxen der Ellipſe halbiren die Winkel der beiden optiſchen Axen; der Halbmeſſer des Kreiſes iſt kleiner als die größere, und größer als die kleinere Hauptaxe, ſo daß der Kreis die Ellipſe in vier Puncten A durchſchneidet. In der Gegend dieſer Puncte bildet die Freſnel'ſche Fläche trichterförmige Vertiefungen (Hörner), die in Spitzen auslaufen, an deren Enden ſich die genannten Puncte A befinden. Zieht man zu dem Kreiſe und zur Ellipſe eine gemeinſchaftliche Tangente wie BD, und legt durch dieſe eine Ebene, auf die Ebene des Schnittes, wodurch der Kreis und die Ellipſe erhalten wurden, ſenkrecht, ſo iſt erſtere Ebene eine Berührungsebene der Fläche, welche auf die zugehörige trichterförmige Vertiefung wie ein Deckel paßt, und ſämmtliche Berührungspuncte liegen in der Peripherie eines Kreiſes. Die Schnitte, welche ſenkrecht auf die hier betrachteten, durch die beiden Axen der Ellipſe gehen, liefern gleichfalls Kreiſe und Ellipſen, aber bei dem einen umſchließt der Kreis die Ellipſe, bei dem andern die Ellipſe den Kreis. Die zwei Geraden BCB, welche durch den Mittelpunct C der Freſnel'ſchen Fläche ſenkrecht auf die erwähnten Berührungsebenen an den Mündungen der Hörner gehen, ſind die wahren optiſchen Axen; die zwei Geraden ACA, welche durch den Mittelpunct der Fläche zu den Spitzen A der Hörner gehen, können die ſcheinbaren optiſchen Axen genannt werden. Der Winkel, um welchen die ſcheinbaren Axen von den wahren abweichen, iſt in allen bekannten Fällen ſehr klein.

284. Auf der Anweſenheit der trichterförmigen Vertiefungen an der Freſnel'ſchen Fläche beruht die von Hamilton entdeckte und von Lloyd auf experimentalem Wege nachgewieſene coniſche Brechung, vermöge welcher ein gewiſſer in einen zweiaxigen Kryſtall eintretender, oder ein aus demſelben herausgehender Strahl in einen hohlen Strahlenkegel aufgelöſet wird. Erſtere heißt die innere, letztere die äußere coniſche Brechung. Entſpricht nämlich einem eintretenden Strahle zur Beſtimmung der Richtungen der gebrochenen Strahlen gerade jene Berührungsebene der Freſnel'ſchen Fläche, welche die Mündung eines Trichters ſchließt, ſo finden unendlich viele in der Peripherie eines Kreiſes liegende Berührungspuncte, mithin auch unendlich viele auf der Oberfläche eines Kegels vertheilte Strahlen Statt, welche, wenn die Austrittsfläche am Kryſtalle der Eintrittsfläche des Lichtſtrahles parallel iſt, beim Austritte einen Strahlencylinder geben, deſſen Baſis dem Querſchnitte des Kegels an der Austrittsfläche gleich, und deſſen Axe der Richtung des einfallenden Strahles parallel iſt. An der Spitze eines Hornes gibt es ferner unendlich viele Berührungsebenen der Freſnel'ſchen Fläche, deren jede auf

einen andern äußeren Strahl ſich bezieht, und alle dieſe Strahlen liegen in der Oberfläche eines Kegels. Dieſer Kegel würde ſich beim Eintreten in den Kryſtall auf einen einzigen Strahl reduciren, der in der Richtung einer ſcheinbaren optiſchen Axe fortginge, daher muß umgekehrt ein nach der Richtung einer ſolchen Axe austretender Strahl ſich in einen Strahlenkegel auflöſen. (Pogg. Ann. 28. 91.)

285. Außer den kryſtalliſirten Körpern bewirken auch Glas, das nach einer Seite zuſammengedrückt oder erhitzt und dann ſchnell abgekühlt worden iſt, ferner viele eingedickte, vegetabiliſche und thieriſche Subſtanzen doppelte Brechung. Die Beſchaffenheit der doppelten Brechung kryſtalliſirter Körper wird durch Druck geändert. Ein vierſeitiges, rechtwinkliges, etwa 1 Zoll dickes Glasprisma, das nach der Richtung der Axe mittelſt einer kleinen eiſernen Preſſe nur mäßig zuſammengedrückt wird, zeigt eine vorgehaltene Nadelſpitze deutlich doppelt. Fresnel erhielt an einem aus 9 Glasprismen zuſammengeſetzten Parallelepiped, deſſen Beſtandtheile abwechſelnd etwas höher waren und mittelſt einer Preſſe gedrückt werden konnten, während die Zwiſchenſtücke ungedrückt blieben, zwei Bilder, die in der Diſtanz eines Meters um 1½ Millimeter von einander abſtanden. Guerard leiſtete dasſelbe mit einer ähnlichen Zuſammenſetzung aus gekühlten mit ungekühlten abwechſelnden Glasprismen. Ein Quarzſtück erhält durch einſeitige Preſſung zwei Axen der doppelten Brechung. Ein Glascylinder, der zur Rothglühhitze gebracht und dann mit ſeiner Cylinderfläche auf einer kalten Metallplatte hin- und hergerollt wird, erhält durch das ſchnelle Abkühlen eine poſitive Axe der doppelten Brechung, welche mit ſeiner geometriſchen Axe zuſammenfällt. Iſt dieſer Cylinder elliptiſch, ſo erhält er gar zwei Brechungsaxen.

Dieſe Axen ſind aber von denen der kryſtalliſirten Körper weſentlich verſchieden. Solche Körper beſitzen in ihren kleinſten Theilchen dieſelbe doppelt brechende Kraft, und eine Brechungsaxe iſt nicht eine fixe Linie, ſondern eine fixe Richtung. Ein durch Abkühlen, Druck ꝛc. mit doppelt brechender Kraft verſehener Körper hingegen hat in einer beſtimmten Linie das größte doppelt brechende Vermögen, und die Brechungsaxe hat an jeder einzelnen Stelle im Körper eine beſtimmte Lage, nicht bloß nur im Allgemeinen eine beſtimmte Richtung.

286. Wenn man von irgend einem das Licht doppelt brechenden Körper nach gehöriger Weiſe ein dreiſeitiges Prisma ſchleifen läßt, und einen Lichtſtrahl durchleitet; ſo wird man zwei Spectra erhalten, in welchen die Farben in vielen Fällen auf vollkommen gleiche, in beſondern Fällen, z. B. bei dem oxalſauren Chromoxyd-Kali, auf verſchiedene Weiſe angeordnet ſind, und in welchen man auch die dunklen Linien (212) bemerken kann. Dieſe bieten auch hier ein Mittel dar, die Werthe des Brechungsexponenten für verſchiedenfarbige Strahlen, mithin auch die Größe der Farbenzerſtreuung in beiden Bildern kennen zu lernen. Verſuche dieſer Art haben gelehrt, daß die Farbenzerſtreuung nicht für beide Theile, in welche ein Strahl durch doppelte Brechung geſpalten wird, dieſelbe Größe habe, und daß das Verhält-

niß der Zerſtreuung deſſelben Strahles in beiden Farbenbildern in verſchiedenen Kryſtallen verſchieden ſey. (Pogg. Ann. 14. 45; 37. 317.)

287. Körper, welche das Licht einfach brechen, haben gewöhnlich, wenn ſie durchſichtig ſind, im durchgelaſſenen Lichte nach allen Richtungen dieſelbe Farbe; doppeltbrechende hingegen beſitzen nach verſchiedenen Richtungen eine verſchiedene Färbung, d. h. Dichroismus. Dieſes rührt davon her, daß ſchon die zwei durch doppelte Brechung getrennten Strahlenbüſchel eine verſchiedene, von ihrer Neigung gegen die Brechungsaxe abhängige Farbe haben, und daß auch in verſchiedener Richtung verſchiedenfarbige Strahlen abſorbirt werden. In der gelblichen Varietät des Doppelſpathes iſt das ungewöhnliche Bild längs der Axe ſtets von orangegelber, das gewöhnliche von gelblichweißer Farbe, und dieſer Farbenunterſchied der zwei Bilder wächſt mit der Neigung der Strahlen gegen die Axe. Aehnliche Phänomene bemerkt man an vielen andern doppelt brechenden Kryſtallen. Der Dichroit erſcheint längs der Axe der doppelten Brechung röthlich, in einer darauf ſenkrechten Richtung hingegen blau ꝛc. Durch Temperaturänderung kann dieſer Dichroismus oft geſteigert werden. So z. B. fand Brewſter in einer Varietät des braſilianiſchen Topaſes, wo eines der zwei Strahlenbüſchel gelb, das andere braun erſchien, daß durch Rothglühhitze die Farbe des ungewöhnlichen Strahles ſehr, jene des gewöhnlichen faſt gar nicht afficirt wird.

Sechstes Kapitel.

Polariſation des Lichtes.

288. Im Vorhergehenden wurde, bei der Betrachtung der Reflexion und Brechung des Lichtes lediglich die Aenderung, welche die Richtung deſſelben erleidet, in das Auge gefaßt, die Aenderung aber, welche dabei an der Intenſität des Lichtes vor ſich geht, unbeachtet gelaſſen. Verfolgt man die Erſcheinungen des Lichtes in letzterer Hinſicht, ſo eröffnet ſich der Forſchung ein eben ſo fruchtbares, als intereſſantes Gebiet, nämlich jenes der Phänomene des polariſirten Lichtes, deſſen Bearbeitung ausſchließend der neueſten Zeit angehört, und zur Feſtſtellung der Undulationstheorie am kräftigſten beigetragen hat. Setzt man jede hypothetiſche Vorſtellung über die Natur des Lichtes bei Seite, und ſieht man bloß auf das, was ſich unmittelbar in Thatſachen ausſpricht, ſo wird man auf den Begriff der Polariſation des Lichtes durch die Wahrnehmung geführt, daß es Lichtſtrahlen gibt, welche, nach verſchiedenen ihre Richtung in ſich enthaltenden Ebenen betrachtet, verſchiedene Eigenſchaften beſitzen, ſo zwar, daß wenn Fig. 320 den Querſchnitt eines cylindriſchen Bündels ſolchen Lichtes vorſtellt, und AA′, BB′ zwei auf einander ſenkrechte Durchmeſſer dieſes Querſchnittes ſind, der Strahl in A, A′ dieſelben, in

B, B′ wieder einerlei, aber den vorgenannten entgegengeſetzte Eigenſchaften beſitzt.

289. Eines der Fundamentalfacta der Lichtpolariſation war ſchon Huyghens bekannt, ohne daß jedoch der große Geometer vermocht hätte, den engen Zuſammenhang zu ahnen, in welchem es mit der Wellentheorie des Lichtes ſteht, deren erſte Grundzüge er ſelbſt mit ſo ausgezeichnetem Scharfſinne entworfen hatte. Die Thatſache iſt folgende: Stellt man zwei Doppelſpathe ſo über einander, daß ihre Hauptſchnitte einander parallel ſind, ſo wird jener Theil eines einfallenden Lichtſtrahles, welcher im erſten auf die gewöhnliche Art gebrochen wurde, auch im zweiten auf die gewöhnliche Weiſe gebrochen, und derjenige, welcher im erſten die ungewöhnliche Brechung erlitt, erleidet ſie auch im zweiten. Man ſieht daher durch beide Doppelſpathe nur zwei Bilder des leuchtenden Gegenſtandes gerade ſo, wie es der Fall wäre, wenn beide Doppelſpathe ein einziges Stück ausmachten, deſſen Dicke ſo groß iſt, als die Dicken der erſteren zuſammengenommen. Stehen aber die Hauptſchnitte beider Kryſtalle auf einander ſenkrecht, ſo erfährt jener Theil des einfallenden Strahles, der im erſten die ungewöhnliche Brechung erlitt, im zweiten die gewöhnliche und umgekehrt; man ſieht daher wieder nur zwei Bilder. Bei jeder andern Lage der beiden Hauptſchnitte gegen einander wird ſowohl der im erſten Kryſtalle auf die gewöhnliche, als auch der auf die ungewöhnliche Art gebrochene Strahl im zweiten wieder in zwei Theile zerlegt; man ſieht daher vier Bilder. Dieſe haben eine gleiche Intenſität, wenn die beiden Hauptſchnitte um 45° gegen einander geneigt ſind; bei jeder andern Neigung der Hauptſchnitte gegen einander, iſt ihre Intenſität verſchieden.

290. Dieſe Erſcheinung lehrt, daß die doppelte Brechung dem Lichte eine eigenthümliche Modification ertheilt, der zu Folge es ſich vom gewöhnlichen Lichte unterſcheidet; ſie blieb aber durch anderthalb Jahrhunderte nicht bloß ein unerklärtes, ſondern auch ein ganz iſolirtes Factum, bis Malus im J. 1810 die Entdeckung machte, daß dieſelbe Modification dem Lichte auch dadurch eingeprägt werden kann, daß man es unter gewiſſen Winkeln von polirten Flächen nicht metalliſcher Körper reflectiren, oder durch getrennte Schichten durchſichtiger Körper hindurchgehen läßt. Fällt nämlich ein Lichtſtrahl von Luft auf Glas unter einem Winkel von 54° 35′ gegen das Einfallsloth, oder unter 35° 25′ gegen die Ebene des Glaſes, und fängt man ihn nach erlittener Reflexion mit einem Doppelſpathe auf, ſo erleidet der Strahl nur die gewöhnliche Brechung, falls der Hauptſchnitt des Kryſtalles mit der Reflexionsebene parallel iſt; hingegen nur die ungewöhnliche, wenn der Hauptſchnitt auf der Reflexionsebene ſenkrecht ſteht. In jeder andern Lage des Hauptſchnittes gegen die Reflexionsebene findet doppelte Brechung Statt, aber die beiden Strahlenbüſchel ſind nur dann gleich intenſiv, wenn die zwei genannten Ebenen unter 45° gegen einander geneigt ſind. Dasſelbe zeigt ſich an dem von einer Waſſerfläche reflectirten Lichte, wenn die Neigung des Strahles gegen dieſe

Fläche 37° beträgt. Macht man dieſen Verſuch mit den unter demſelben Einfallswinkel durch mehrere ebene Glasplatten geleiteten, alſo gebrochenen Theil des auffallenden Lichtſtrahles; ſo bemerkt man ähnliche Phänomene, nur mit dem Unterſchiede, daß der Strahl ganz auf die gewöhnliche Weiſe gebrochen wird, wenn die Brechungsebene auf dem Hauptſchnitte ſenkrecht ſteht, hingegen ganz auf die ungewöhnliche Weiſe, wenn dieſe Ebenen mit einander parallel ſind. Es erlangt daher der unter obigem Winkel von Glas reflectirte Strahl die Eigenſchaft des im Doppelſpath gewöhnlich gebrochenen, der gebrochene die des ungewöhnlich gebrochenen Strahles, und die beiden Lichtbüſchel, in welche der auf Glas fallende Strahl getheilt wird, und deren eines reflectirt, das andere gebrochen wird, verhalten ſich, wie die beiden durch doppelte Brechung von einander getrennten Theile.

291. Man kann dieſen Verſuch auch umgekehrt anſtellen, und ſtatt den von Glas reflectirten oder gebrochenen Strahl auf einen Doppelſpath zu leiten, die ſchon in einem Doppelſpath in zwei Bündel getheilten Büſchel auf eine Glastafel auffallen laſſen. In dieſem Falle iſt es gut, wenn man ein achromatiſches Doppelſpathprisma anwendet, mit welchem die zwei Strahlenbüſchel ſo ſtark divergirend gemacht werden, daß man jeden einzelnen für ſich auf das Glas leiten kann. Läßt man nun den gewöhnlich gebrochenen Strahl auf ein Glas unter 35° 25′ fallen; ſo wird ein Theil deſſelben unverändert reflectirt, ein anderer durchgelaſſen, wenn die Einfallsebene des Strahles auf Glas mit dem Hauptſchnitte des Kryſtalles parallel iſt, hingegen wird kein Theil des Strahles zurückgeworfen, ſondern derſelbe vollſtändig durchgelaſſen, oder (falls das Glas geſchwärzt iſt) abſorbirt, wenn dieſe beiden Ebenen auf einander ſenkrecht ſtehen. Mit dem ungewöhnlich gebrochenen Strahle findet das Gegentheil Statt. Dieſer wird bei oben angegebener Neigung gegen die Ebene des Glaſes vollſtändig durchgelaſſen oder abſorbirt, wenn die beiden oben genannten Ebenen mit einander parallel ſind. Stehen dieſe Ebenen auf einander ſenkrecht, ſo findet partielle Reflexion und Transmiſſion, jedoch ohne Aenderung der Beſchaffenheit des Strahles, Statt. Bei einer ſchiefen Stellung der Einfallsebene des einen oder des andern der beiden doppelt gebrochenen Strahlen gegen den Hauptſchnitt des Doppelſpathes, mit oder ohne Veränderung des Einfallswinkels, erfolgt nebſt der theilweiſen Reflexion und Transmiſſion, noch eine Aenderung in der Beſchaffenheit des Strahles, die einer Drehung der Hauptſchnittsebene des Doppelſpathes, der den Strahl geliefert hat, gleichgilt.

292. Es iſt nun nicht ſchwer, vorherzuſehen, wie ſich ein auf Glas unter 35° 25′ auffallender Strahl nach der Reflexion oder Brechung verhalten wird, wenn man ihn unter demſelben Winkel wieder auf eine Glasplatte auffallen läßt. Es wird nämlich der Strahl, welcher von einer Glastafel unter 35° 25′ reflectirt worden iſt, und unter demſelben Winkel auf eine zweite Glastafel fällt, zum Theil ungeändert reflectirt, zum Theil ungeändert durchgelaſſen, wenn die Einfallsebenen in beiden Gläſern mit einander parallel ſind, hingegen vollſtän-

dig und ungeändert durchgelaſſen, oder, falls das Glas geſchwärzt iſt, abſorbirt, wenn jene Ebenen auf einander ſenkrecht ſtehen; in jeder Zwiſchenlage aber, bei einer jeden Neigung gegen die zweite Glasplatte wieder in verändertem Zuſtande zum Theile reflectirt, zum Theile durchgelaſſen oder abſorbirt. Das Gegentheil geſchieht mit dem durch mehrere auf einander gelegte Glasplatten gebrochenen Strahle. Die Eigenſchaften eines von Glas reflectirten oder gebrochenen Strahles beſitzt auch ein ſolcher, der von vielen andern Körpern unter einem beſtimmten Winkel reflectirt oder gebrochen worden iſt, und es wurde vorher nur das Glas angeführt, um einen beſondern Fall vor Augen zu haben.

293. Malus ſuchte dieſe Erſcheinungen nach der zu ſeiner Zeit noch allgemein herrſchenden Emiſſionstheorie des Lichtes zu deuten. Er nahm an, daß die Lichttheilchen, kleinen Magneten ähnlich, mit Polen verſehen ſeyen, die in einem aus doppelter Brechung hervorgehenden oder durch Reflerion unter dem ſchicklichen Winkel erhaltenen Strahle übereinſtimmende Stellungen erlangt haben, weßwegen er einen ſolchen Strahl einen polariſirten nannte, während die Lichttheilchen in einem gewöhnlichen oder unpolariſirten Strahle nach dieſer Vorſtellungsweiſe alle möglichen Richtungen haben. Um jedoch für die Angabe dieſer Anordnung einen ſicheren Anhaltspunct zu gewinnen, nannte man ſeit der Entdeckung der neueren Polariſationsphänomene, die Hauptſchnittsebene eines Doppelſpathes in Bezug auf den gewöhnlich gebrochenen Strahl, oder die Reflerionsebene eines von einer Glastafel unter dem Neigungswinkel von 35° 25′, dem Polariſationswinkel, reflectirten Strahles in Bezug auf dieſen die Polariſationsebene. Hiernach erklärt ſich der Sinn der Redensart: »die Polariſationsebenen des gewöhnlich und ungewöhnlich gebrochenen Strahles oder des von einer Glastafel unter dem gehörigen Winkel reflectirten und des von einer Reihe von Glastafeln durchgelaſſenen Strahles ſtehen auf einander ſenkrecht, oder dieſe Strahlen ſind entgegengeſetzt polariſirt« von ſelbſt. Dieſe Benennungen haben ſich auch noch erhalten, nachdem man die Polariſationserſcheinungen beſſer zu deuten wußte, und wurden in die Undulationstheorie übertragen. Nur muß man in dieſer Theorie annehmen, daß die Schwingungen der Aethertheilchen, welche in allen dieſen Fällen geradlinig vor ſich gehen, ſenkrecht gegen die Polariſationsebene des Strahles erfolgen, wodurch ein Unterſchied zwiſchen Polariſationsrichtung und Schwingungsrichtung erwächſt. Beide ſtehen auf einander und auf dem betreffenden Lichtſtrahle ſenkrecht, und erſtere liegt in der Polariſationsebene, letztere ſenkrecht gegen dieſelbe.

294. Unterſtützt durch die Mechanik der Vibrationen elaſtiſcher Medien, ſo wie ſelbe von Fresnel zuerſt entworfen und von Cauchy feſt begründet wurde, vermag die Undulationstheorie von den vorgenannten Erſcheinungen eine vollkommen befriedigende Erklärung zu geben. Gelangt Licht an die Grenze eines doppelt brechenden Körpers, z. B. eines Doppelſpathes, und iſt der einfallende Strahl we-

der im Hauptſchnitte, noch ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirt, ſo können die Vibrationen, welche den an der Oberfläche des Körpers befindlichen Aethertheilchen mitgetheilt werden, nicht unverändert in das Innere dieſes Körpers fortſchreiten. Es vermag nämlich ein Körper dieſer Art nach einer nicht mit einer optiſchen Axe zuſammenfallenden Richtung bloß geradlinige Lichtvibrationen, und unter dieſen bloß ſolche, die entweder in der Ebene des Hauptſchnittes oder ſenkrecht gegen dieſe Ebene Statt finden, unverändert fortzupflanzen; auch erfolgt die Fortpflanzung beider Arten von Vibrationen mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten. Dieſe Geſchwindigkeit iſt bei einaxigen Kryſtallen für das im Hauptſchnitte polariſirte Licht, welches in Schwingungen ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt beſteht, nach allen Richtungen dieſelbe, oder die Wellenfläche hat eine ſphäriſche Geſtalt; für das ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirte Licht aber, das in Schwingungen beſteht, deren Richtung in die Ebene des Hauptſchnittes fällt, ändert ſich die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit mit der Richtung, und die Wellenfläche iſt ein Ellipſoid, welches durch Umdrehung der Ellipſe um eine ihrer Hauptaxen entſteht. Fällt nun ein Lichtſtrahl auf den Kryſtall, und zerlegt man die wie immer beſchaffene, jedoch jedenfalls in einer auf die Fortpflanzungsrichtung oder den Lichtſtrahl ſenkrechten Ebene vor ſich gehende Schwingung eines Aethertheilchens im einfallenden Strahle in zwei geradlinige Schwingungen, wovon die eine ſenkrecht gegen die Ebene des Hauptſchnittes, die andere in dieſer Ebene erfolgt, ſo kann man den einfallenden Strahl als den Inbegriff zweier Strahlen betrachten, die einerlei Richtung und Geſchwindigkeit haben, und wovon der eine im Hauptſchnitte, der andere ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirt iſt. Jeder dieſer Strahlen erzeugt in dem doppelt brechenden Mittel einen Strahl von gleichem Polariſationszuſtande, indem die Elementarwellen, die von den an der Grenzfläche erſchütterten Aethertheilchen ausgehen, nur nach einer gewiſſen Richtung im Einklange wirken, nach andern Richtungen aber ſich wechſelſeitig tilgen. Wegen der verſchiedenen Form dieſer Wellen für die zwei ſo eben unterſchiedenen Schwingungsweiſen erhalten die reſultirenden zwei Strahlen verſchiedene Richtungen, wie dieß bereits im vorhergehenden Kapitel erklärt wurde. Hiernach läßt ſich nun einſehen, wie es kommt, daß ein geradlinig polariſirter Lichtſtrahl, der in einen Doppelſpath eindringt, nur dann zwei Bilder von gleicher Lichtſtärke liefert, wenn ſeine Polariſationsebene mit dem Hauptſchnitte einen Winkel von 45° macht, und daß bei einem kleineren Winkel beider Ebenen das gewöhnliche, bei einem größeren das ungewöhnliche Bild das intenſivere iſt. Im erſten Falle ſind nämlich beide Componenten des Lichtſtrahles gleich ſtark; im zweiten hat die nach dem Hauptſchnitte, im dritten die ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirte Componente das Uebergewicht. Anders verhält es ſich mit dem unpolariſirten Lichte; da haben dieſe Componenten raſch hinter einander alle möglichen Größen, von Null angefangen bis zur Intenſität des einfallenden Strahles, und der Effect beider fällt daher gleich aus.

295. Auch die Polariſation des Lichtes durch Reflexion läßt ſich nach den Principien der Undulationstheorie erklären. Nach den Geſetzen der höheren Mechanik ergibt ſich das merkwürdige Reſultat, daß die Amplitude der Vibrationen in einer Aetherwelle, die an einer einfach brechenden Subſtanz reflectirt wird, von dem Einfallswinkel, dem Brechungswinkel und überdieß vom Polariſationszuſtande der Welle abhängt, und daher für Schwingungen, die ſenkrecht gegen die Einfallsebene vor ſich gehen, nach einem andern Geſetze beſtimmt wird, als für ſolche, deren Richtungen in der Einfallsebene liegen. Setzt man die Amplitude oder die Schwingungsintenſität im einfallenden Strahle $= 1$, im reflectirten, wenn die Schwingungen ſenkrecht gegen die Einfallsebene geſchehen $= R$, und wenn dieſelben in der Einfallsebene Statt finden $= R'$, ſo hat man für Glas, Waſſer und ähnliche Medien

$$R = -\frac{\sin(a-b)}{\sin(a+b)},\quad R' = \frac{\sin 2a - \sin 2b}{\sin 2a + \sin 2b}.$$

Die Quadrate dieſer Ausdrücke geben die Intenſität des betreffenden reflectirten Strahles an, wenn die Intenſität des einfallenden Lichtes $= 1$ angenommen wird.

Hat der einfallende Strahl eine ſolche Richtung, daß $\sin 2a = \sin 2b$ ausfällt, ſo wird $R' = 0$. Dieß ſetzt voraus, daß $2a + 2b = 180°$, alſo $a + b = 90°$ ſey, mithin die Richtung des gebrochenen Strahles auf jener des einfallenden ſenkrecht ſtehe, ein Reſultat, welches nicht bloß die Möglichkeit rechtfertigt, daß ein ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirter Lichtſtrahl gar keinen reflectirten Lichtſtrahl liefere, ſondern auch den Einfallswinkel angibt, unter welchem dieſer Fall eintritt, deſſen Ergänzung zu 90° der im Vorhergehenden ſogenannte Polariſationswinkel iſt. Nennt man den Brechungsexponenten n, ſo iſt $\sin a = n \sin b$, und da nach Obigem $\cos a = \sin b$ folgt, ſo hat man $\tan a = n$. Das durch die Formel $a + b = 90°$ ausgeſprochene Geſetz hat zuerſt Brewſter auf dem Wege der Erfahrung entdeckt.

296. Da man eine jede auch krummlinige Schwingung immer in zwei geradlinige Schwingungen zerlegen kann, deren eine in irgend welche durch den Strahl gelegte Ebene fällt, die andere dagegen ſenkrecht iſt, ſo läßt ſich jeder auf eine ſpiegelnde Fläche einfallende Lichtſtrahl aus zwei Strahlen zuſammengeſetzt denken, deren einer ſenkrecht gegen die Einfallsebene, der andere in der Einfallsebene polariſirt iſt. Wählt man nun den Einfallswinkel ſo, daß die reflectirende Fläche, z. B. eine Glasplatte, unfähig iſt, von dem erſteren Strahle irgend einen Theil zu reflectiren, ſo kann bei dieſer Incidenz (51° 35′) der reflectirte Strahl bloß von dem in der Einfallsebene polariſirten Antheile des einfallenden Lichtes herrühren; er wird alſo lediglich aus Licht letztgenannter Art beſtehen. Im durchgelaſſenen Lichte wird dem gemäß (abgeſehen von der Abſorption) alles der Reflexion entgangene Licht, mithin alles im einfallenden Lichte vorhanden geweſene ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirte mit einem geringen Antheile in der Einfallsebene polariſir-

ten Lichtes gemengt enthalten ſeyn. Fällt dieſes auf eine zweite mit erſterer parallele Glasplatte, ſo enthält der durchgelaſſene Strahl noch weniger von dem in der Einfallsebene polariſirten Lichte, und dieſes wird, bei Anwendung einer hinreichenden Anzahl Glasplatten, endlich ganz unmerklich, ſo daß das durchgehende Licht lediglich aus ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirten Strahlen beſteht.

297. Fällt ein polariſirter Lichtſtrahl unter einem beliebigen Winkel auf eine geſchwärzte Glasplatte, und ſtimmt die Polariſationsebene deſſelben mit der Einfallsebene überein, oder bilden dieſe Ebenen einen rechten Winkel, ſo trägt der reflectirte Strahl genau die Beſchaffenheit des einfallenden an ſich; er iſt wie dieſer polariſirt, und nur hinſichtlich der Intenſität von ihm verſchieden. Iſt aber die Polariſationsebene des einfallenden Strahles unter einem ſchiefen Winkel gegen die Einfallsebene geneigt, ſo erſcheint der reflectirte Strahl auch noch als ein polariſirter, allein ſeine Polariſationsebene macht, den Fall der ſenkrechten Incidenz ausgenommen, mit der Einfallsebene einen andern Winkel als vor der Reflexion. Daſſelbe gilt auch bei der Reflexion des polariſirten Lichtes von Waſſer und andern durchſichtigen Medien.

Man kann das Geſetz dieſer Drehung der Polariſationsebene durch Reflexion an der Oberfläche einfach brechender Subſtanzen aus den in 295 angeführten Formeln ableiten, wenn man den einfallenden Strahl in ſeine Componenten zerlegt, die Intenſitäten der aus denſelben entſpringenden reflectirten Strahlen beſtimmt, und aus letzteren den reſultirenden reflectirten Strahl ableitet. Iſt a der Einfallswinkel des polariſirten Strahles, b der Brechungswinkel für das in die durchſichtige Subſtanz eindringende Licht, φ der Winkel, den die Polariſationsebene des einfallenden Lichtes mit der Einfallsebene macht, ψ dieſer Winkel für das reflectirte Licht, ſo findet man auf dieſem Wege die bereits von Fresnel aufgeſtellte Gleichung:

$$tang\,\psi = tang\,\varphi \cdot \frac{cos\,(a+b)}{cos\,(a-b)}.$$

Die Richtigkeit derſelben wurde beſonders von Brewſter durch zahlreiche Verſuche bewieſen.

Eine ähnliche Bewandtniß hat es mit dem in ein einfach brechendes Medium eindringenden Theile eines polariſirten Lichtſtrahles. Auch hier findet im Allgemeinen eine Drehung der Polariſationsebene Statt. Behalten wir die früheren Bezeichnungen bei, und nennen wir den Winkel, den die Polariſationsebene des gebrochenen Strahles mit der Einfallsebene macht, ω, ſo gilt die ſowohl durch die Theorie gerechtfertigte, wie auch von Brewſter auf experimentellem Wege ſcharf geprüfte Gleichung.

$$tang\,\omega = \frac{tang\,\varphi}{cos\,(a-b)},$$

aus welcher ſich alle hier vorkommenden Einzelnheiten leicht entnehmen laſſen.

298. Ein gewöhnlicher Lichtſtrahl, der auf einen Körper unter einem Winkel auffällt, der größer oder kleiner iſt als der Polariſationswinkel, erſcheint nach der Reflexion oder Brechung nicht als ein polariſirter, dies Wort in der bisher gebrauchten Bedeutung genom-

men, denn er gibt mittelſt eines Doppelſpathes ſelbſt dann noch zwei Bilder, wenn der Hauptſchnitt des letzteren mit der Einfallsebene parallel iſt, doch ſind dieſe zwei Bilder nicht wie beim unpolariſirten Lichte gleich hell, ſondern eines überwiegt das andere an Helligkeit deſto mehr, je näher der Einfallswinkel an dem reflectirenden oder brechenden Körper dem Polariſationswinkel ſteht. Ein ſolcher Strahl hat demnach zum Theile die Eigenſchaften eines gewöhnlichen, zum Theile jene eines polariſirten an ſich, und heißt deßhalb unvollkommen polariſirt. Betrachtet man das gemeine Licht als zuſammengeſetzt aus zwei rechtwinklig polariſirten Hälften, und unterſucht die Drehung der Polariſationsebene einer jeden, ſo läßt ſich einſehen, wie es kommt, daß ein ſogenannter unvollkommen polariſirter Strahl durch mehrere auf einander folgende Reflexionen oder Brechungen unter Winkeln, die vom Polariſationswinkel abweichen, zu einem vollkommen polariſirten wird.

Nicht jeder einfach brechende Körper vermag das Licht vollkommen zu polariſiren. Ein Beiſpiel davon liefert der Diamant. Dieſer Umſtand läßt ſich, wie Cauchy gefunden hat, gleichfalls theoretiſch nachweiſen (Pogg. Ann. 50. 409). Auch die Geſetze der Polariſation durch Reflexion an doppelt brechenden Körpern ſind bereits dem Calcul unterworfen worden. Mac-Cullagh, Seebeck, Neumann haben hieher gehörende Formeln angegeben. (S. Neumann's Abhandlung: Ueber den Einfluß der Kryſtallflächen bei der Reflexion des Lichtes. Berlin, 1837. Derſelbe in Pogg. Ann. 40. 497; 42. 1. Seebeck ebend. 38. 276; 40. 462.)

299. Aus dem Vorhergehenden erhellet von ſelbſt, wie man ſich durch Reflexion und Transmiſſion, und im letzteren Falle ſowohl durch einfache, wie auch durch doppelte Brechung polariſirtes Licht verſchaffen, und wenn ein Strahl gegeben iſt, denſelben in Abſicht auf ſeinen Polariſationszuſtand unterſuchen könne. Bei Anwendung doppelt brechender Subſtanzen iſt oft die geringe Trennung beider polariſirten Strahlen ſtörend; doch kann auch einer dieſer Strahlen entweder durch die natürliche Beſchaffenheit des polariſirenden Körpers in Folge einer Abſorption oder Zerſtreuung wegfallen, oder er kann durch totale Reflexion bei Seite geſchafft werden. Durch Abſorption polariſirt der Turmalin; durch Zerſtreuung eine Achatplatte; auf der Beſeitigung eines der zwei durch doppelte Brechung ſich ergebenden Strahlen mittelſt totaler Reflexion beruht die Einrichtung des Nicol'ſchen Doppelſpathrhomboeders.

Ein Plättchen aus einem Turmalinkryſtall, das parallel mit der Kryſtallaxe geſpalten iſt, abſorbirt von einem darauf fallenden Strahle den ordentlich gebrochenen, nach der Richtung der Axe polariſirten Theil, und läßt den andern, d. i. den außerordentlich gebrochenen, ſenkrecht gegen die Axe polariſirten, durch. Ein ſolches Plättchen iſt daher für darauf fallendes bereits polariſirtes Licht undurchſichtig, wenn die Polariſationsebene der Axe des Plättchens parallel iſt. Deßhalb geht durch zwei Turmalinplättchen, deren Axen ſich kreuzen, kein Licht durch, während ſie, wenn die Axen parallel ſind, Licht reichlich durchlaſſen. Es dürfen aber, damit dieſer Erfolg befriedigend eintrete, die

Plättchen nicht zu dünn ſeyn. Betrachtet man einen ſchmalen hellen Gegenſtand durch ein dreiſeitiges Turmalinprisma, deſſen brechender Winkel klein iſt, und ſeine Kante mit der Kryſtallaxe parallel hat, ſo erſcheint der Gegenſtand doppelt, wenn das Licht nahe an dieſer Kante durch das Prisma geht; läßt man aber das Licht nach und nach durch Stellen gehen, die von der Kante entfernt ſind, mithin eine größere Dicke haben; ſo wird das durch gewöhnliche Brechung entſtandene Bild dunkler, und verſchwindet zuletzt gänzlich. Eine parallel mit der Kryſtallaxe geſchnittene Turmalinplatte iſt demnach ein treffliches Mittel, um in einer beſtimmten Richtung polariſirtes Licht zu erhalten, oder auch um zu prüfen, ob ein in das Auge eindringender Lichtbündel polariſirt ſey, und welche Lage deſſen Polariſationsebene habe. Iſt man über die Lage der Axe eines ſolchen Turmalinplättchens in Ungewißheit, ſo läßt ſich dieſelbe leicht finden. Man ſehe, das Plättchen vor das Auge haltend, in ſchiefer Richtung gegen eine geſchwärzte, vom Tageslichte beleuchtete Glasplatte, oder auch nur gegen einen polirten Tiſch, und drehe dabei das Plättchen um eine auf ſeiner Ebene ſenkrechte Gerade herum, ſo zeigt ſich das Geſichtsfeld während einer Umdrehung zweimal in größter Helligkeit und zweimal in größter Dunkelheit. So oft letzteres der Fall iſt, befindet ſich die optiſche Axe des Plättchens in der Reflexionsebene des Lichtes. Findet man, daß bei einer beſtimmten Stellung des Plättchens ein auf ſelbes ſenkrecht einfallender Lichtſtrahl gänzlich verſchluckt wird, ſo iſt dieſer polariſirt, und ſeine Polariſationsrichtung ſtimmt mit der Axe des Plättchens überein. Geſetzt, man habe ein dreiſeitiges Prisma aus Bergkryſtall, deſſen Seitenflächen mit der Kryſtallaxe parallel geſchnitten ſind, ſo aufgeſtellt, daß die Kante des brechenden Winkels horizontal und abwärts gekehrt iſt, und man betrachte damit einen etwas entfernten horizontalen weißen Papierſtreifen. Man erblickt unter dem Gegenſtande zwei über einander geſtellte, wegen der Farbenzerſtreuung gefärbte, jedoch deutlich getrennte Bilder, die hier beide nach den Geſetzen der gewöhnlichen Brechung des Lichtes entſtehen. Da die ungewöhnliche Brechung im Bergkryſtalle anziehend erfolgt, ſo iſt im vorliegenden Falle der Brechungsexponent für den ordentlichen Strahl kleiner als für den außerordentlichen; demnach entſpricht das höher ſtehende Bild der ordentlichen, das tiefere der außerordentlichen Brechung des Lichtes. Bringt man nun ein Turmalinplättchen zwiſchen das Prisma und das Auge, und befindet ſich die Axe desſelben in einer Verticalebene, d. h. in der Stellung, in der das von einer horizontalen geſchwärzten Platte ſchief kommende Licht aufgehalten wird, ſo verſchwindet das tiefere Bild. Dreht man das Turmalinplättchen um 90°, ſo erſcheint dieſes Bild wieder, und es verſchwindet das höhere. Es ſind demnach die Strahlen, welche das höhere Bild geben, parallel mit der Kante des Prisma's, folglich parallel mit der Axe des Bergkryſtalles, d. h. im Hauptſchnitte, die Strahlen dagegen, denen das tiefere Bild gehört, ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirt. Hieraus ergibt ſich die Folgerung, daß auch im Bergkryſtalle die in einer gegen die Kryſtallaxe ſenkrechten Ebene gewöhnlich gebrochenen Strahlen im Hauptſchnitte, die ungewöhnlichen ſenkrecht gegen den Hauptſchnitt polariſirt ſind. Iſt aber das Bergkryſtallprisma nach einer andern, vom Parallelismus mit der Kryſtallaxe bedeutend abweichenden Richtung geſchnitten, ſo findet man keinen der beiden Strahlen polariſirt, während bei einem Prisma aus Doppelſpath und vielen andern doppelt brechenden Subſtanzen beide Strahlen ſtets vollkommen polariſirt erſcheinen. Dieß gibt zu erkennen, daß die Fortpflanzung des Lichtes im Bergkryſtalle mittelſt Schwingungen erfolge, die von den in andern doppelt brechen-

den Körpern Statt findenden verſchieden ſind. Nach dem Geſagten läßt ſich auch ſehr leicht erkennen, ob eine doppelt brechende Subſtanz, aus der man ein Prisma geſchliffen hat, auf das Licht attractiv oder repulſiv wirke.

In Fällen, wo die Färbung der Turmaline die Reinheit der Erſcheinungen ſtört, bedient man ſich mit Vortheil der Nicol'ſchen Parallelepipede oder Prismen. Ein ſolches Prisma kommt an Geſtalt einem durch Spaltung erhaltenen länglichen Doppelſpathparallelepiped oder Rhomboid ziemlich nahe. Man erhält es, wenn man die ſpitzigen Kantenwinkel eines kleinen Doppelſpathrhomboides zu 68° zuſchleiſt, die neuen Flächen polirt, das Rhomboid dann in zwei gleiche Theile theilt, durch einen Schnitt, der durch die ſpitzigen Kantenwinkel und die ſtumpfen Körperwinkel geht, und endlich die Schnittflächen durch Canadabalſam oder Terpentin wieder vereinigt. Fällt nun ein Strahl darauf der Länge des Rhomboides parallel, ſo erleidet er in demſelben die doppelte Brechung; der gewöhnlich gebrochene Strahl, auf den die Balſamſchichte wie ein ſchwächer brechendes Mittel wirkt, erleidet an derſelben, der Schiefe der Incidenz wegen, die totale Reflexion, und wird ſeitwärts abgelenkt, während der andere Strahl, rückſichtlich deſſen die Balſamſchichte als ein ſtärker brechendes Mittel zu betrachten iſt, dieſelbe durchdringt. Der Parallelismus der Ein- und Austrittsfläche bewirkt die Achromatiſirung des durchgelaſſenen Lichtes.

Ein Turmalinplättchen, oder beſſer wegen der größeren Durchſichtigkeit und Farbloſigkeit, ein Nicol'ſches Prisma, kann bei manchen Unterſuchungen mit großem Vortheile gebraucht werden, um einen Theil des ins Auge eindringenden Lichtes wegzuſchaffen. Eine intereſſante Anwendung hievon auf das deutlichere Sehen von Gegenſtänden, die ſich unter Waſſer befinden, hat Arago angegeben. Es überwiegt nämlich das von der Oberfläche des Waſſers durch Spiegelung in das Auge kommende Licht, ſeiner großen Intenſität wegen, den Eindruck, den das aus dem Waſſer ſpärlich heraustretende hervorzubringen vermag, dergeſtalt, daß letzterer gänzlich verwiſcht wird. Aber das von oben auf die Waſſerfläche fallende Licht wird an ſelber, wenn der Neigungswinkel ſeiner Richtung gegen dieſe Fläche nahe 37° beträgt, durch Reflexion polariſirt. Sieht man daher nach dieſer Richtung mit freiem Auge oder mittelſt eines Fernrohres gegen das Waſſer, und läßt man das dem Auge zugeſendete Licht vorher durch ein ſchicklich angebrachtes Turmalinplättchen oder Nicol'ſches Prisma gehen, ſo wird alles von der Waſſerfläche reflectirte Licht ausgeſchloſſen, und man erhält lediglich die aus dem Waſſer hervorkommenden Strahlen. Welchen Nutzen dieß den Schiffern gewähren kann, iſt für ſich klar.

300. Die in dieſem Kapitel angeſtellten theoretiſchen Betrachtungen über Polariſation ruhen vornehmlich auf der Vorausſetzung, daß die Schwingungen der Aethertheilchen bei der Lichtfortpflanzung ſenkrecht gegen die Strahlen, d. h. transverſal vor ſich gehen. Eine von Fresnel und Arago im Jahre 1816 vorgenommene Unterſuchung der Interferenz des polariſirten Lichtes lieferte einen directen Beweis der Richtigkeit dieſer Vorausſetzung. Wie nämlich dieſe Phyſiker fanden, geht die Interferenz zweier Bündel geradlinig polariſirten Lichtes, wenn die Polariſationsrichtungen derſelben parallel ſind, genau ſo vor ſich, wie ſie unter den nämlichen Umſtänden mit gewöhnlichem Lichte Statt findet; ſobald aber die Polariſationsrichtungen einen ſchiefen

Winkel machen, geht die Schwächung der Lichtintenſität nicht mehr bis zur Vernichtung des Lichtes, und beträgt um ſo weniger, je größer der Winkel der Polariſationsrichtungen iſt, weßwegen das Interferenzphänomen ſelbſt in entſprechendem Grade an Deutlichkeit verliert; ſtehen endlich die Polariſationsrichtungen auf einander ſenkrecht, ſo fällt jede Schwächung des Lichtes und mithin auch die Wahrnehmbarkeit des Interferenzphänomens hinweg. Dieſe Thatſache läßt ſich nur aus der Annahme transverſaler Lichtſchwingungen erklären, ſo wie dieſe allein eine Verſchiedenheit der Lichtſtrahlen nach verſchiedenen Seiten betrachtet möglich machen, während bei longitudinalen Vibrationen alle Beziehungen dieſer Art wegfallen.

Verſuche zum Beweiſe oben erwähnter wichtigen Thatſache macht man am beſten mit zwei gleichen parallelen Spalten, die man vor das Objectiv eines Fernrohres bringt, und vor welchen ſich zum Behufe der Polariſirung der durch dieſelben hindurchgehenden Lichtbündel entweder zwei gleiche Turmalinplättchen, oder zwei gleich dicke Säulen aus Glas oder Glimmertafeln befinden, deren Lage die relative Stellung der Polariſationsebenen der durch dieſe Spalten gehenden Lichtbündel beſtimmt. Setzt man vor die beiden Spaltöffnungen zwei gleich dicke, der Kryſtallaxe parallel geſchnittene Bergkryſtallplatten, ſo ſieht man, je nachdem die Axen parallel oder gegen einander geneigt oder auf einander ſenkrecht ſtehen, das gewöhnliche Interferenzphänomen, oder dieſes in geringerer Intenſität und zu beiden Seiten desſelben ebenfalls Interferenzſpectra, oder nur letztere allein. Nennen wir nämlich die in beiden Spalten durch gewöhnliche Brechung des Lichtes ſich ergebenden Strahlen O und O′, die durch ungewöhnliche Brechung entſtehenden E und E′; ſo interferiren ſich im erſten Falle bloß O und O′, ferner E und E′, und die Spectra coincidiren; im zweiten kommen noch die Interferenzen von O mit E′ und von O′ mit E hinzu; im dritten interferiren ſich bloß die letzteren zwei Strahlenſyſteme. Die Ausſchließung der Interferenz von O mit E′ und von O′ mit E im erſten Falle, und der Interferenz von O mit O′ und von E mit E′ im dritten lehrt, das rechtwinkelig zu einander polariſirte Strahlen durch Interferenz keine Modification der Intenſität des Lichtes erzeugen.

301. Wird ein polariſirter Strahl an der Grenzfläche eines einfach brechenden Mittels zurückgeworfen, ſo hängt die Lage der Polariſationsebene des reflectirten Strahles, wie aus der in 297 angegebenen Formel erhellet, nicht bloß von der Stellung der Polariſationsebene des einfallenden gegen die Einfallsebene und vom Einfallswinkel, ſondern überdieß noch von der Beſchaffenheit der an einander grenzenden Medien ab, denn es kommt in dieſer Formel auch der zu dem vorhandenen Einfallswinkel gehörende Brechungswinkel vor. Deßhalb aber gibt dieſelbe über den Zuſtand des reflectirten Strahles im Falle der totalen Reflexion, wo der Brechungswinkel imaginär erſcheint, keinen Aufſchluß. Indem Fresnel die Modification des polariſirten Lichtes in genanntem Falle zum Gegenſtande ſeiner Unterſuchungen machte, wurde er zu einer ſeiner ſchönſten und wichtigſten Entdeckungen geführt, die wir jetzt aus einander ſetzen wollen. Läßt man einen polariſirten Lichtſtrahl A B in ein dreiſeitiges, mit gleichen

Winkeln bei E und F verſehenes Glasprisma DEF, Fig. 321, ſenkrecht gegen die Fläche DF eintreten, wodurch er hinſichtlich ſeines Polariſationszuſtandes ungeändert an der Fläche EF ankommt, und hat man den Winkel D dergeſtalt gewählt, daß der Strahl in B total reflectirt wird; ſo findet man den zurückgeworfenen Strahl BO (der wegen des ſenkrechten Austrittes an der Fläche DE keine weitere Veränderung erleidet) wie vor dem Eintritte in das Prisma polariſirt, wenn die urſprüngliche Polariſationsebene mit der Einfallsebene parallel, oder auf ihr ſenkrecht iſt; dagegen gänzlich verändert, und ſcheinbar in einen ſogenannten unvollkommen polariſirten Strahl (126) verwandelt, wenn die urſprüngliche Polariſationsebene eine ſchiefe Stellung gegen die Einfallsebene hat. Der reflectirte Strahl gibt nämlich in letzterem Falle, mittelſt eines Doppelſpathes, bei jeder Lage des Hauptſchnittes zwei Bilder, deren Intenſität mit der Stellung des Hauptſchnittes wechſelt, ohne jedoch ſich auf Null zu reduciren. Er iſt demungeachtet von einem unvollkommen polariſirten Strahle weſentlich verſchieden. Um die Veränderung, welche die totale Reflexion einem polariſirten Lichtſtrahle beibringt, in ihrem ganzen Umfange kennen zu lernen, iſt es am zweckmäßigſten, ſtatt des dreiſeitigen Prisma's ein Parallelepiped von der Form DEFG, Fig. 322, anzuwenden, deſſen ſpitze Winkel D und F für Glas mit dem Brechungsexponenten 1,5 entweder 48° oder 54° betragen, und deſſen Länge geſtattet, daß ein durch die Fläche DG ſenkrecht eindringender Lichtſtrahl AB nach zwei Reflexionen bei B und C, die hier nothwendig totale ſind, durch die Fläche EF austrete, was gleichfalls unter einem rechten Winkel geſchieht. Läßt man einen durch Reflexion an einer Glasplatte, oder an einem geſchwärzten Spiegel polariſirten Lichtſtrahl ſenkrecht auf die Fläche DG eines ſolchen Fresnel'ſchen Parallelepipeds fallen, und unterſucht man den durch die Fläche EF austretenden Lichtſtrahl hinſichtlich ſeines Polariſationszuſtandes mittelſt eines achromatiſchen Doppelſpathprismas, ſo findet man ihn, wenn die Reflexionsebene DEFG des Parallelepipeds der Reflexionsebene der Glasplatte oder des ſchwarzen Spiegels parallel ſteht, wie vor dem Eintritte in das Parallelepiped, nämlich in dieſer Reflexionsebene polariſirt. Dreht man nun das Parallelepiped ein wenig um eine auf die Ein- und Austrittsfläche des Lichtes ſenkrechte Axe, ſo iſt der Zuſtand der vollkommenen Polariſation des Lichtes geſtört; man bringt es, bei Anwendung des Doppelſpathprisma's nicht mehr zur früheren Dunkelheit eines der beiden Bilder; das ungewöhnliche Bild, deſſen Intenſität im vorigen Falle auf Null reducirt wurde, wenn die Hauptſchnittsebene des Doppelſpathes mit der Reflexionsebene der Glasplatte oder des ſchwarzen Spiegels zuſammenfiel, erlangt jetzt ſeine geringſte Intenſität, wenn dieſe Hauptſchnittsebene mit der Reflexionsebene des Parallelepipeds übereinſtimmt. Dreht man das Parallelepiped wieder ein wenig, ſo zeigt ſich eine ähnliche Erſcheinung, nur iſt das Bild im Minimum ſeiner Intenſität noch weniger dunkel als früher. Hat man dem Parallelepiped eine ſolche Stellung gegeben, daß die

Reflexionsebene desſelben mit jener der polariſirenden Spiegelfläche einen Winkel von 45° macht, ſo hört jede Aenderung der Lichtſtärke der Bilder bei den verſchiedenen Stellungen des Doppelſpathes auf; der Strahl ſcheint jede Spur von Polariſation verloren zu haben, d. i. in den Zuſtand des gemeinen Lichtes zurückgekehrt zu ſeyn. Bei weiterem Drehen des Parallelepipeds erſcheinen wieder Intenſitätsänderungen der beiden Bilder, nur iſt jetzt das gewöhnliche Bild jenes, deſſen Intenſität am geringſten ausfällt, wenn der Hauptſchnitt des Doppelſpathes mit der Reflexionsebene des Parallelepipeds parallel ſteht. Iſt endlich dieſe Ebene um 90° aus ihrer anfänglichen Poſition gedreht worden, ſo beſitzt der aus dem Parallelepiped kommende Strahl wieder vollkommene Polariſation, und ſeine Polariſationsrichtung iſt dieſelbe, wie vor dem Eintritte in das Parallelepiped. Daß der bei dieſen verſchiedenen Stellungen des Parallelepipeds ſich ergebende Strahl von einem gemeinen, mehr oder minder unvollkommen polariſirten, weſentlich verſchieden ſey, zeigt ſich ſogleich, wenn man ihn in einem zweiten, dem erſteren gleichen Parallelepiped abermals zwei totale Reflexionen erleiden läßt, wobei er ſich ganz anders verhält, wie gemeines theilweiſe polariſirtes Licht.

Stellt man nämlich die Reflexionsebenen beider Parallelepipede einander parallel, ſo erhält man den aus dem erſten heraustretenden Strahl nach der Einwirkung des zweiten wieder in polariſirtem Zuſtande, nur zeigt ſich ſeine Polariſationsebene von der anfänglichen um das Doppelte des Winkels abgelenkt, den die gemeinſchaftliche Reflexionsebene der Parallelepipede mit jener des Polariſationsſpiegels macht. Stellt man aber die Reflexionsebene des zweiten Parallelepipeds gegen die des erſten ſenkrecht, ſo erlangt der Strahl, welche Stellung ſonſt die Parallelepipede haben mögen, ſeine urſprüngliche Polariſationsrichtung zurück. Was insbeſondere den Fall betrifft, wenn das erſte Parallelepiped gegen die Reflexionsebene des Spiegels um 45° verſchoben iſt, ſo verwandelt ſich das dadurch ſcheinbar entpolariſirte Licht bei jeder Stellung des zweiten Parallelepipeds in vollkommen polariſirtes Licht, und ſeine Polariſationsebene macht ſtets mit der Reflexionsebene des letztern Parallelepipeds einen Winkel von 45°, ein Verhalten, das von dem des gemeinen unpolariſirten Lichtes gänzlich abweicht.

302. Geleitet durch die Undulationstheorie hat Freſnel die Natur der Veränderung, welche das polariſirte Licht bei der totalen Reflexion erfährt, auf das Entſchiedenſte erkannt; ja nur durch die Theorie war es möglich, die Geſtalt des Glasparallelepipedes auszumitteln, und die Umſtände anzugeben, unter welchen eine zweimalige totale Reflexion eines polariſirten Lichtſtrahles denſelben gänzlich entpolariſirt, ohne ihn doch in gemeines Licht umzuwandeln. Die Lücken, welche Freſnel noch übrig ließ, indem er manchmal eine höchſt ſinnreich ausgedachte Vermuthung an die Stelle einer ſtrengen Demonſtration ſetzte, wurden von Cauchy vollkommen ergänzt, ſo daß die Theorie dieſer Claſſe optiſcher Erſcheinungen als vollendet betrachtet werden darf. Aus dieſer Theorie geht hervor, daß wenn zwei Lichtſtrahlen wovon einer in der Einfallsebene, der andere ſenkrecht gegen dieſe Ebene polariſirt iſt, zugleich eine totale Reflexion erleiden, in der re-

lativen Anordnung der Phaſen, die durch dieſe Strahlen fortgepflanzt werden, eine Aenderung vor ſich geht, ſo daß nach der Reflexion die Phaſe des erſteren im Vergleiche mit der Phaſe des anderen Strahles um eine gewiſſe, durch Rechnung beſtimmbare Differenz verzögert erſcheint. Dieſe Verzögerung beträgt im Glaſe vom Brechungsindex 1,5, bei dem Einfallswinkel von 48° oder auch von 54° gerade $^1/_8$ einer Schwingung, mithin nach zwei ſolchen Reflexionen $^1/_4$ einer Schwingung. Durch eine einzige totale Reflexion im Glaſe kann der Phaſenunterſchied nicht ſo groß gemacht werden. Was hier überhaupt von zwei polariſirten Strahlen geſagt wurde, gilt insbeſondere von den zwei parallel und ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirten Componenten, in die ein polariſirter Strahl, deſſen Polariſationsebene mit der Reflexionsebene des Fresnel'ſchen Parallelepipedes einen ſchiefen Winkel macht, zerlegt werden kann; iſt dieſer Winkel die Hälfte eines Rechten, ſo beſitzen die zwei Componenten gleiche Intenſitäten, und da ſie durch die zwei totalen Reflexionen eine Phaſendifferenz von einem Viertel einer Undulation erhalten, ſo ſetzen ſich dieſelben bei dem Austritte aus dem Parallelepipede zu einem Strahle zuſammen, in welchem die Aethertheilchen [ſ. I. 359. 2)] in kreisförmigen Bahnen ſchwingen. Ein ſolcher Strahl wird ein **circular polariſirter** genannt, zum Unterſchiede vom bisher betrachteten Polariſationszuſtande des Lichtes, welcher die **geradlinige Polariſation** heißt. Macht die Polariſationsebene eines Lichtſtrahles mit der Reflexionsebene des Fresnel'ſchen Parallelepipeds einen anderen ſchiefen Winkel als 45°, ſo erhalten die Componenten dieſes Strahles ungleiche Intenſitäten, und die Schwingungen der Aethertheilchen in dem aus dem Parallelepipede kommenden Strahle erfolgen nicht in kreisförmigen, ſondern in elliptiſchen Bahnen, es entſteht alſo ein ſogenannter **elliptiſch polariſirter** Strahl. Nach dieſer Theorie iſt nun leicht vorauszuſehen, was mit einem polariſirten Strahle geſchehen muß, wenn er nach einander durch zwei in gegebenen Stellungen befindliche Fresnel'ſche Parallelepipede geſendet wird.

Es ſey A (Fig. 323) ein Punct in der Richtung des einfallenden geradlinig polariſirten Lichtſtrahles, AP der Durchſchnitt der Polariſationsebene deſſelben mit einer auf die Richtung des Strahles ſenkrechten Ebene (der Ebene der Zeichnung), AF die Reflexionsebene eines Fresnel'ſchen Parallelepipedes. Stellt AB die Amplitude der Schwingungen im Lichtſtrahle vor, welche ſenkrecht gegen AP erfolgen, und zerlegt man AB in AD und AE, ſo wird AD gegen AE um $^1/_4$ einer Schwingung verzögert. Tritt der Strahl in ein zweites Parallelepiped deſſen Reflexionsebene die Lage der vorigen hat, ſo ſteigt die Verzögerung von AD auf eine halbe Undulation, und es iſt zur Beſtimmung der Schwingungsrichtung für den austretenden Strahl die Componente AD mit der gerade entgegengeſetzten AD' zu vertauſchen; ſonach erſcheint jetzt AB' als Schwingungsrichtung und AP' als Polariſationsrichtung dieſes Strahles. Wie man leicht ſieht, iſt der Winkel P'AF gleich PAF, alſo P'AP = 2FAP. Wäre aber die Reflexionsebene des zweiten Parallelepipeds auf jene des erſteren ſenkrecht, ſo würde auch AE um $^1/_4$ Schwingung verzögert; die Stellung der Pha-

ſen der beiden Componenten bleibt in ſolchem Falle ungeändert, und es erhält ſonach der Strahl ſeine urſprüngliche Polariſation zurück.

303. Die Aethertheilchen, durch deren Schwingungen circular oder elliptiſch polariſirtes Licht fortgepflanzt wird, können ihre auf der Richtung des Strahles ſenkrechten Bahnen in zweierlei entgegengeſetztem Sinne durchlaufen. Hierauf beruht der Unterſchied zwiſchen rechts und links circular oder elliptiſch polariſirtem Lichte. Nachſtehende Erörterung wird die mit dieſen Benennungen zu verbindenden Begriffe feſtſetzen. Man denke ſich einen nach horizontaler Richtung in das Auge eindringenden Lichtſtrahl als Axe der von den Aethertheilchen zu beſchreibenden, z. B. kreisförmigen Bahnen, und nehme an, dieſe Theilchen durchlaufen die obere Bahnhälfte von der Linken gegen die Rechte, folglich die untere von der Rechten gegen die Linke. Da die ſchwingenden Theilchen von der Welle, die ſie fortpflanzen helfen, um ſo eher erreicht werden, je weiter ſie vom Auge abſtehen, mithin die entfernteren in einem beſtimmten Augenblicke, im Vergleiche mit den näheren, ſich in früheren Phaſen befinden, ſo iſt klar, daß eine, in irgend einem Momente durch alle ſchwingenden Theilchen gelegte Linie auf der Oberfläche des Cylinders, den alle Bahnen zuſammengenommen geben, eine Schraubenlinie darſtellt, und zwar in dem vorliegenden Falle eine rechtsgewundene, die auch rechtsgewunden bleibt, wenn man den Strahl von einem andern Standpuncte betrachtet, z. B. nach der gerade entgegengeſetzten Richtung, ſo daß die andere Seite der Bahnen dem Auge zugekehrt iſt, daher die Bewegung der Theilchen in der oberen Bahnhälfte von der Rechten gegen die Linke gerichtet erſcheint. Das Rechtsgewundenſeyn dieſer Schraubenlinie beſtimmt den Charakter des rechts polariſirten Strahles. Indem derſelbe in das Auge eindringt, bewegt ſich dieſe Schraubenlinie ſo wie eine gewöhnliche rechte Schraube, die man einſchraubt. Bei entgegengeſetzter Bewegung der Aethertheilchen in ihren Bahnen, iſt die Verbindungslinie ihrer gleichzeitigen Orte eine linksgewundene Schraubenlinie und der Strahl iſt ein links polariſirter. Da bei der totalen Reflexion ein in der Einfallsebene polariſirter Strahl rückſichtlich eines ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirten, der Phaſe nach verzögert wird, ſo iſt nicht ſchwer einzuſehen daß ein Fresnel'ſches Parallelepiped, durch welches ein urſprünglich geradlinig polariſirter Strahl zu dem Auge geht, dieſen in einen rechts oder links polariſirten verwandelt, je nachdem die Reflexionsebene des Parallelepipeds von der Polariſationsebene des Strahles, vom Scheitel des ſpitzen Winkels beider angeſehen, nach der Linken oder nach der Rechten abweicht.

304. Das geradlinig polariſirte Licht wird, wie Brewſter entdeckt hat, durch Reflexion von einer polirten Metallfläche in den Zuſtand der elliptiſchen Polariſation verſetzt. Fällt z. B. ein geradlinig polariſirter Strahl auf eine polirte Stahlplatte unter einem Winkel von 75° in einer Ebene, die um 45° gegen die Polariſationsebene geneigt iſt; ſo erſcheint der reflectirte Strahl nicht mehr geradlinig po-

lariſirt, denn er gibt bei der Analyſe mit einem Doppelſpathe ſtets zwei Bilder, er iſt auch kein natürlicher und kein unvollkommen polariſirter Strahl, denn er erſcheint nach einer abermaligen Reflexion an einer zweiten Stahlplatte unter 75°, bei dem Winkel von 45° zwiſchen der Reflexionsebene und der urſprünglichen Polariſationsebene, geradlinig polariſirt, und die neue Polariſationsebene macht mit der früheren einen Winkel von 17°. Die Natur dieſes Strahles gibt ſein Verhalten nach zwei totalen Reflexionen in Fresnel's Parallelepiped deutlich zu erkennen, ſo wie umgekehrt ein aus dieſem Parallelepiped heraustretender urſprünglich geradlinig polariſirter Strahl ſich bei Reflexionen an Metallflächen wie ein durch Metallflächen ſelbſt modificirter Strahl verhält. Auch ein circular polariſirter Strahl wird nicht bloß durch fernere totale Reflexionen in Glas, ſondern gleichfalls durch eine oder mehrere Reflexionen von Metallflächen auf den geradlinigen Polariſationszuſtand zurückgeführt, wenn die Einfallswinkel bei dieſen Metallflächen kleiner ſind als der Winkel der vollkommen elliptiſchen Polariſation, und alle Reflexionsebenen einander parallel ſind. Es werden daher in der That Reflexionen von Glas durch Reflexionen von Metall vertreten. Die Theorie gibt von allen dieſen Phänomenen, welche in einer Aenderung des Verhältniſſes der Phaſen der Componenten des urſprünglichen Strahles durch die Reflexion an den Metallflächen ihren Grund haben, genaue Rechenſchaft, und verhilft zur vollſtändigen Ueberſicht der Geſetze, an welche dieſe Erſcheinungen gebunden ſind. Neumann hat hier die Bahn gebrochen, Cauchy die vollſtändige analytiſche Entwicklung gegeben. (S. Pogg. Ann. 26. 89; 39. 40.)

305. Geradlinig polariſirtes Licht, welches auf eine Platte aus einer das Licht doppelt brechenden Subſtanz fällt, tritt aus derſelben nach Maßgabe der Dicke der Platte und der Incidenz des Strahles, elliptiſch, oder circular, oder geradlinig polariſirt heraus. Es ſey nämlich ABCD, Fig. 324, der Durchſchnitt einer ſolchen Platte, EF ein darauf fallender geradlinig polariſirter Lichtſtrahl, der bei ſeinem Eintritte in dieſelbe in zwei ſenkrecht gegen einander polariſirte Strahlen FG und FH geſpalten werde, welche letzteren an der Fläche DC bei G und H der Richtung des einfallenden Strahles parallel nach Gx und Hy austreten. Trifft nebſt EF ein Bündel Strahlen von derſelben Richtung die Platte, ſo iſt ein zweiter Strahl E′F′ vorhanden, der bei dem Eintritte in F′G′ und F′G zerfällt, ſo daß der Strahl F′G zugleich mit FG nach der Richtung Gx die Platte verläßt. Da die zwei Strahlen, welche den Strahl Gx zuſammenſetzen, ſich im Allgemeinen wegen der Schiefe der Incidenz auf AB und wegen der ungleichen und mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten zurückgelegten Wege in verſchiedenen Schwingungsphaſen und in entgegengeſetztem Polariſationszuſtande mit einander vereinigen, ſo geht aus ihrer Interferenz eine elliptiſche Schwingung hervor, die in beſonderen Fällen circular, auch geradlinig ausfallen kann. Hierauf läßt ſich eine Methode gründen, ſich circular polariſirtes Licht zu verſchaffen. Glimmer, den man

leicht in Platten von ſchicklicher Dicke ſpalten kann, eignet ſich beſonders gut hiezu. Auch gekühltes oder gepreßtes Glas läßt ſich, wie Dove gezeigt hat, dazu verwenden.

306. Leitet man weißes polariſirtes Licht durch ein nicht zu dickes Plättchen aus einer das Licht doppelt brechenden Subſtanz, als: Kalkſpath, Quarz, Gips, Glimmer u. dgl. und hierauf auf einen Körper, der zwei entgegengeſetzt polariſirte Componenten des Lichtes von einander zu ſondern vermag, z. B. ein Doppelſpathprisma, ein Syſtem paralleler Glastafeln, einen geſchwärzten Spiegel, eine Turmalinplatte, ein Nicol'ſches Prisma u. dgl., ſo zeigt ſich das Kryſtallplättchen bei ſchicklicher Lage gefärbt. Die Farbe, welche man da wahrnimmt, richtet ſich nach der Natur und Dicke des Plättchens. Ueber eine gewiſſe Dicke hinaus findet aber keine Färbung desſelben Statt. Neigt man das Plättchen gegen das einfallende Licht, damit dieſes ſchief durch das Plättchen gehe, ſo ändert ſich die Farbe, als wäre das Plättchen dicker geworden. Dreht man das Plättchen um das einfallende Licht, ſo ändert ſich nicht die Beſchaffenheit, wohl aber die Intenſität der Farbe, und es gibt vier Lagen des Plättchens, wo die Farben am intenſivſten, und vier andere, wo ſie am ſchwächſten (= o) ſind. Erſteres da, wo der Hauptſchnitt des Plättchens mit der urſprünglichen Polariſationsebene 45° macht, letzteres, wo dieſer Winkel o oder 90° iſt. Bedient man ſich zur Betrachtung des Plättchens eines Syſtems paralleler Glastafeln, ſo iſt die Farbe des Plättchens im durchgelaſſenen Lichte ſtets die complementäre zu der im reflectirten, oder es geht die Farbe des Plättchens in die complementäre über, wenn man die Glastafeln, ohne den Einfallswinkel des Lichtes zu ändern, um 90° dreht. Wendet man ſtatt der Gläſer einen Doppelſpath an, ſo ſieht man zwei farbige Bilder auf einmal, und ihre Farben, die ebenfalls bei Drehung des Hauptſchnittes in die complementären übergehen, ergänzen ſich da, wo ſie ſich decken, fortwährend zu Weiß.

Die Beſtändigkeit der Farbe eines Glimmerplättchens von beſtimmter Dicke im polariſirten Lichte, und die mit der Neigung desſelben gegen den einfallenden Strahl durch alle Zwiſchenſtufen erfolgende Farbenänderung geben ein gutes Mittel zur Conſtruction eines Farbenmeſſers. — In die Reihe dieſer Farbenerſcheinungen gehören auch diejenigen, welche Kryſtalle im polariſirten Lichte darbieten, die, von zwei Seiten angeſehen, auch zwei verſchiedene Farben zeigen, wie z. B. Beryll. Schneidet man von der bläulich grünen Varietät dieſes Minerals ein dreiſeitiges Prisma, damit die durch doppelte Brechung entſtandenen Strahlenbüſchel hinreichend von einander getrennt erſcheinen, und läßt weißes polariſirtes Licht darauf fallen; ſo gehen bloß blaue Strahlen durch, wenn die Axe des Kryſtalls auf der Polariſationsebene des einfallenden Lichtes ſenkrecht ſteht, hingegen grünlich weiße, wenn die Axe mit dieſer Ebene parallel iſt. Dreht man das Prisma allmälig von der erſten Lage in die zweite, ſo geht auch das durchgelaſſene Licht ſucceſſiv von Blau in Grünlichweiß über. Ein ähnliches Verhalten bemerkte Brewſter, dem wir die Kenntniß dieſer Erſcheinung überhaupt verdanken, am Zirkon, Saphyr, Smaragd, Amethyſt, Turmalin ꝛc.

307. Alle Erſcheinungen dieſer Art erklären ſich einfach daraus, daß der zur Analyſe des aus dem Kryſtallplättchen austretenden Strahles angewandte Apparat jeden der beiden entgegengeſetzt polariſirten Beſtandtheile dieſes Strahles (305) in zwei Componenten zerlegt, wovon die eine in Schwingungen in der Hauptſchnitts- oder Reflexionsebene des analyſirenden Apparates, die andere in Schwingungen ſenkrecht gegen dieſe Ebene beruht. Hiedurch kommt nach jeder dieſer Richtungen eine Componente des einen Strahles mit einer Componente des andern zur Interferenz, woraus für jedes Paar ein Strahl reſultirt, deſſen Intenſität nebſt dem, daß ſie von dem urſprünglichen Einfallswinkel, von der Dicke des Plättchens, von der Lage der Polariſationsebene des einfallenden Strahles und der Hauptebene des analyſirenden Apparates gegen den Hauptſchnitt des Plättchens abhängt, für jede Wellenlänge eine andere iſt, wodurch das Miſchungsverhältniß der Beſtandtheile des weißen Lichtes abgeändert wird, ſo daß eine beſtimmte Farbe zum Vorſchein kommt. Es iſt leicht zu zeigen, daß die zwei durch den analyſirenden Apparat geſonderten Effecte, wie auch jene bei der Drehung ſeiner Hauptebene um 90°, ſich zu einander complementär verhalten. In der That ſind OA und OB (Fig. 325) die gleichzeitigen Schwingungsrichtungen und Amplituden der beiden aus dem Kryſtallplättchen austretenden entgegengeſetzt polariſirten Strahlen von einer beſtimmten Farbe, ferner xOx' und yOy' die Geraden, nach welchen die Schwingungen in Folge der Action des analyſirenden Apparates ſich zerlegen, ſo liefert OA die Amplituden OH und OK, OB die Amplitude OL und OM, mithin wird die Amplitude des Strahles, deſſen Schwingungen in xOx' fallen $= OH - OL$, jene des andern $= OK + OM$, daher ergibt ſich für die Summe der Intenſitäten beider der Ausdruck $(OH - OL)^2 + (OK + OM)^2 = OH^2 + OK^2 + OL^2 + OM^2 - 2OH \,.\, OL + 2OK \,.\, OM$. Wegen $OH^2 + OK^2 = OA^2$, $OL^2 + OM^2 = OB^2$ und weil, wie die Aehnlichkeit der Dreiecke OAH, OBL zeigt,
$OH : AH = BL : OL$, mithin $OH.OL = AH.BL = OK.OM$ iſt, reducirt ſich dieſer Ausdruck auf $OA^2 + OB^2$. Es ergänzt ſonach die Intenſität des einen Strahles jene des andern zum vollen Werthe des aus dem Kryſtallplättchen austretenden Lichtes, woraus die Richtigkeit obiger Behauptung von ſelbſt folgt.

Unpolariſirtes, durch ein Plättchen aus einer doppelt brechenden Subſtanz geleitetes Licht gibt nach der Analyſe keine Farbenerſcheinungen, weil die auf einerlei Polariſationsebene gebrachten Componenten der Strahlen in allen möglichen Combinationen von Phaſen auftreten, in Folge der unendlich vielen, nach allen möglichen Richtungen polariſirten Strahlen, aus denen das unpolariſirte Licht beſtehend gedacht werden kann, ſo daß jeder Effect mit ſeinem complementären zuſammenfällt, und durchgehends nur gleichfarbiges Licht von einerlei Intenſität erhalten wird.

308. Fällt auf ein Plättchen aus einer doppelt brechenden Materie polariſirtes Licht unter verſchiedenen Winkeln, und leitet man dasſelbe mittelſt eines zweiten polariſirenden Apparates in das Auge, oder

bei gehöriger Stärke des Lichtes auf einen Schirm im verfinſterten Zimmer, ſo entſpricht einer gewiſſen Folge von Incidenzen einerlei Färbung des Plättchens, und es zeigen ſich regelmäßig angeordnete Syſteme gleichfarbiger oder iſochromatiſcher Linien. Am einfachſten ſtellt man dieſe Linien dar, wenn man das Kryſtallplättchen zwiſchen zwei der Axe parallel geſchnittene Turmalinplättchen oder zwiſchen zwei Nicol'ſche Prismen bringt, und hindurchſieht, oder wenn man die Zuſammenſtellung dieſer Plättchen in den Brennpunct einer Sammellinſe bringt, durch welche man mittelſt eines Helioſtats einen Bündel paralleler Sonnenſtrahlen ſendet, und die Erſcheinung im verfinſterten Zimmer auf einem Schirme auffängt. Nimmt man ein Plättchen aus einem einaxigen Kryſtall, z. B. ein Doppelſpathplättchen, ſenkrecht gegen die Kryſtallaxe geſchnitten, ſo ſieht man es, weil hier gleichen Neigungen gegen die Axe gleiche Interferenzphänomene entſprechen, mit farbigen concentriſchen Ringen geziert, die durch ein Kreuz unterbrochen erſcheinen. Dieſes Kreuz iſt rechtwinkelig und wenn die Axen der Turmalinplättchen ſenkrecht gegen einander ſtehen, ſchwarz (Fig. 326); wenn aber die Axen der Turmalinplättchen einander parallel ſind, weiß (Fig. 327). Bedient man ſich ſtatt der Turmalinplättchen zweier geſchwärzten Spiegel, ſo erſcheint das ſchwarze Kreuz, wenn die Reflexionsebenen der Spiegel einander ſenkrecht ſchneiden, und das weiße, wenn ſie mit einander übereinſtimmen. Im durchgelaſſenen Lichte, wenn der analyſirende Apparat ein Syſtem paralleler Glastafeln iſt, zeigt ſich bei jeder dieſer Stellungen die complementäre Figur der durch Reflexion erhaltenen; ein Doppelſpathprisma liefert beide Figuren zugleich. Aehnliche Ringe bemerkt man an ſenkrecht gegen die Axe geſchnittenen Plättchen von Beryll, Turmalin u. dgl., nur erſcheinen die Ringe bei verſchiedenen, wenn auch gleich dicken Plättchen von verſchiedener Größe, und das Kreuz iſt bald mehr bald minder deutlich zu ſehen; bei einigen Plättchen, wie z. B. bei denen von Apophyllit oder unterſchwefelſaurem Kalke, weicht die Farbenfolge von der in den gewöhnlichen Fällen Statt findenden ſtark ab. Der Bergkryſtall bildet unter den einaxigen Körpern eine Ausnahme, von der ſpäter die Rede ſeyn wird. Vollkommen homogene Plättchen kann man um ihre eigene Axe drehen, ohne daß dadurch eine Aenderung der Ringe oder des Kreuzes bemerklich würde, aber der kleinſte Mangel an Homogeneität offenbart ſich durch eine Verzerrung der Ringe oder durch eine Biegung der Arme des Kreuzes. Bei demſelben Plättchen erſcheint ein Ring deſto größer, je dünner die Platte iſt, und zwar wachſen die Ringdurchmeſſer verkehrt wie die Quadratwurzeln der Plättchendicke. Nicht genau ſenkrecht gegen die Axe der doppelten Brechung geſchnittene Plättchen zeigen ovale Ringe. An Plättchen aus zweiaxigen Kryſtallen erſcheint das Phänomen dieſer Farbenringe ganz verſchieden. Iſt ein ſolches Plättchen ſenkrecht auf die Linie geſchnitten, welche den Winkel beider Axen halbirt und in ihrer Ebene liegt, ſo ſieht man die Ringe, wie Fig. 328, falls die beiden Axen, wie z. B. bei dem Salpeter, einen kleinen Win-

kel einſchließen, ſo daß man ihre Pole, die den Mittelpuncten der Ringe entſprechen, zugleich im Geſichtsfelde hat, und die urſprüngliche Polariſationsebene des Lichtes mit der Ebene der zwei Axen zuſammenfällt. Dreht man das Plättchen um 22½°, ſo nehmen die Ringe die Geſtalt, Fig. 329, bei einer Drehung von 45° die Geſtalt Fig. 330 an, und dieſelben Veränderungen erleiden ſie bei jeder fernern Drehung von 45°. Bei Plättchen aus Kryſtallen, deren Axen einen gar großen Winkel einſchließen, wie z. B. aus Arragonit, erſcheint gar nur ein Phänomen, wie es Fig. 331 darſtellt. Dieſe Erſcheinungen ändern ſich, wenn man ſtatt des geradlinig polariſirten Lichtes circular oder elliptiſch polariſirtes anwendet. Wird z. B. ein ſenkrecht gegen die Kryſtallaxe geſchnittenes Plättchen aus Kalkſpath polariſirtem Lichte ausgeſetzt, das vorher durch ein Fresnel'ſches Parallelepiped gegangen iſt, deſſen Reflexionsebene mit der Polariſationsebene des Lichtes einen Winkel von 45° macht, oder durch ein Glimmerplättchen von ſchicklicher Dicke und Stellung, ſo verſchwindet das ſchwarze Kreuz, und die Ringe erſcheinen, wie Fig. 332 zeigt, in vier Quadranten getheilt, die abwechſelnd um eine halbe Ringbreite gegen den Mittelpunct vor- und zurückgeſchoben ſind. Durch Drehen des Unterſuchungsapparates werden bloß die Theilungslinien der Quadranten gedreht, ſonſt aber an der Figur nichts geändert. Wendet man das Parallelepiped gegen die andere Seite der Polariſationsebene des einfallenden Lichtes, ſo daß es wieder mit dieſer den Winkel von 45° macht, ſo verändert ſich die Erſcheinung bloß im Verhältniſſe von Rechts zu Links. Plättchen aus zweiaxigen Kryſtallen verhalten ſich auf analoge Weiſe. Läßt man das circular polariſirt in ein Kalkſpathplättchen, wie vorhin, einfallende Licht, ehe es zum Unterſuchungsapparate kommt, noch einmal durch ein mit dem erſteren übereinſtimmend geſtelltes Fresnel'ſches Parallelepiped geben, ſo erhält man bei den Hauptſtellungen des Unterſuchungsapparates wieder Kreiſe, jedoch ohne Kreuz und mit einem dunklen oder lichten Fleck im Mittelpuncte. In homogenem Lichte ſieht man in allen dieſen Fällen ſehr zahlreiche Ringe von der Farbe des angewendeten Lichtes, die durch dunkle Zwiſchenräume unterbrochen ſind. Die Durchmeſſer der Ringe ſind für verſchiedene Farben verſchieden, und zwar nehmen ſie von der rothen Farbe des Spectrums gegen die violette hin ab, ein Umſtand, welcher lehrt, daß das Phänomen im weißen Lichte bloß das Reſultat des gleichzeitigen Eintretens und der Uebereinanderlagerung der Erſcheinungen iſt, die den verſchieden brechbaren Beſtandtheilen des weißen Lichtes angehören. Dieſe Uebereinanderlagerung vermindert die Anzahl der Ringe, hebt ſie ſogar in manchen Fällen gänzlich auf, ſo daß man die iſochromatiſchen Curven nur bei Anwendung homogenen Lichtes ſieht. Solches verſchafft man ſich am leichteſten mittelſt einer Weingeiſtlampe, deren Docht man mit Kochſalz beſtreut.

Aus dem in 305 und 307 Geſagten wird man leicht entnehmen, warum die Farbenringe um ſo näher an einander gerückt erſcheinen, je größer ſie werden, denn bei ſchieferer Incidenz wird der Gangunterſchied der

Strahlen größer, und variirt mit wachſender Schiefe raſcher; warum eine Doppelſpathplatte dieſer Art ein ſchwarzes oder weißes Kreuz zeigt, je nachdem die Hauptebene des polariſirenden und analyſirenden Apparates ſich kreuzen oder zuſammenfallen, und warum die Arme dieſes Kreuzes nach dieſen Hauptebenen gerichtet ſind, denn Strahlen, die in dieſer Hauptebene vom Polariſationsapparate zur Kryſtallplatte kommen, erleiden keine doppelte Brechung, womit auch die Interferenz von den ſonſt vorhandenen zwei Strahlentheilen wegfällt u. dgl. Ja ſelbſt die Hauptformen der Erſcheinungen im circularen oder elliptiſchen Lichte laſſen ſich ohne Rechnung vorausſehen; allein zur vollſtändigen quantitativen Erörterung dieſer Phänomene iſt die mathematiſche Behandlung unerläßlich. Sie wurde für Platten einaxiger Kryſtalle ſenkrecht auf die Axe geſchnitten, von Airy (S. Pogg. Ann. 23. 204) ausführlich gegeben. Nach anderen Richtungen geſchnittene Platten behandelte Müller (a. a. O. 33. 282; 35. 95. 261). Ueber die Farbenerſcheinungen an zweiaxigen Kryſtallen ſ. Neumann in Pogg. Ann. 33. 257.

309. Derlei Erſcheinungen beobachtet man ſehr bequem mit Hilfe des ſogenannten Polariſationsinſtrumentes. Unter den mannigfaltigen Einrichtungen, welche man demſelben gegeben hat, dürfte die durch Fig. 333 vorgeſtellte, welche die Vortheile des Nörrenberg'ſchen und Airy'ſchen Polariſationsinſtrumentes in ſich vereinigt, die paſſendſte ſeyn. Die Beſtandtheile deſſelben, welche von dem aus zwei verticalen Säulen gebildeten Geſtelle getragen und in verſchiedenen Combinationen gebraucht werden, ſind: Die polariſirende Glasplatte A; der horizontale Spiegel B; das Tiſchchen C für die zu unterſuchenden Objecte; der Träger D für den Analyſirungsapparat, der nach Umſtänden ein geſchwärzter, unter 35° 25′ gegen die Verticallinie geneigten Spiegel, oder ein eben ſo geſtelltes Syſtem paralleler Glastafeln, oder ein Turmalinplättchen, ein achromatiſirtes Doppelſpathprisma, ein Nicol'ſches Prisma u. dgl. ſeyn kann; die Beleuchtungslinſen E und F, dann noch zwei Ocularlinſen (beide Sammelgläſer), wovon eine über die Oeffnung des Trägers D und die zweite vor den oberen ſchwarzen Spiegel, falls derſelbe angewendet wird, zu ſtehen kommt. Die polariſirende Platte A wird gegen die Verticalrichtung unter dem Winkel von 35° 25′ geſtellt, und nimmt, je nachdem ihr oberer Theil einwärts oder auswärts gekehrt iſt, das Tageslicht oder das Licht einer Lampe entweder mit ihrer oberen Fläche auf und reflectirt es nach oben, oder das Licht fällt auf die untere Fläche der Platte, wird von dieſer dem horizontalen Spiegel B zugeſendet, der es durch die Platte A hindurch aufwärts wirft. Sollte das Tageslicht nicht günſtig einfallen, ſo kommt man noch mit einem vor das Inſtrument geſtellten Beleuchtungsſpiegel zu Hilfe. Setzt man auf D den ſchwarzen Spiegel oder einen andern der vorgenannten Analyſirungsapparate, ſo kann man bei dem Drehen deſſelben um eine verticale Axe ſogleich den Wechſel der Lichtintenſität im Geſichtsfelde des Apparates beobachten. Zum Behufe der Grundverſuche über die circuläre und elliptiſche Polariſation ſtellt man ein oder zwei Fresnel'ſche Parallelepipede auf den Tiſch C. Um die gleichmäßige Färbung der Kryſtallplättchen unter

dem Einfluſſe paralleler Strahlen wahrzunehmen, bringt man ſelbe auf den Tiſch C, den man nach Wunſch neigen und in ſeiner eigenen Ebene drehen kann. Um die Farbenringe der Kryſtallplättchen zu ſehen, legt man ſelbe entweder auf den Spiegel B und ſetzt die Linſe E ſo über ſelbe, daß die Plättchen ſich im Brennpuncte derſelben befinden, und betrachtet ſelbe mit einem der Analyſirungsapparate, oder man gibt eine Sammellinſe in die Oeffnung des Trägers D, bringt den Tiſch C in ihre Brennweite, legt das Kryſtallplättchen darauf, ſtellt die Linſe F in die Brennweite darunter, und betrachtet das Phänomen mittelſt einer vor den analyſirenden Apparat, am beſten vor den ſchwarzen Spiegel gehaltenen Sammellinſe. Die Linſe F macht die auf ſelbe fallenden parallelen Strahlen convergirend; dieſe gehen durch das Kryſtallplättchen, werden von der Linſe in D parallel, und nach der Reflexion vom Spiegel durch die Ocularlinſe wieder convergirend gemacht. Das Auge muß hiebei in dem Vereinigungspuncte der Strahlen ſtehen. Man kann auf dieſe Weiſe die Farbenringe mittelſt der kleinſten Kryſtallplättchen ſehen. Alle Gegenſtände, welche auf den Spiegel B gelegt werden, wirken ſo, als ob ſie mit ihrem Bilde vereinigt wären, d. h. doppelte Dicke hätten, und die Linſe E vertritt die Stelle von zweien.

Das in die durchſichtige Platte A eindringende, nach der Brechung an deren Hinterfläche reflectirte Licht trifft dieſe in Folge des in 295 angegebenen Geſetzes gleichfalls unter dem Winkel der vollkommenen Polariſation und verſtärkt daher die Wirkung. Der Polariſationswinkel iſt aber nicht für alle einfache Strahlengattungen derſelbe, daher auch im Zerlegungsapparate bei weißem Lichte kein vollkommen dunkles Geſichtsfeld möglich iſt. Ein Ueberzug von Feuchtigkeit der polariſirenden Platte oder des oberen Spiegels, z. B. durch Anhauchen, ändert den Polariſationswinkel, mithin auch den Effect und das früher dunkle Geſichtsfeld wird heller.

310. Ein von den übrigen einaxigen Kryſtallen gänzlich abweichendes Verhalten im polariſirten Lichte zeigt der Bergkryſtall. An einem ſenkrecht gegen die Axe geſchnittenen Plättchen aus dieſem Körper erſcheint bei der oben beſchriebenen Beobachtungsweiſe kein dunkles Kreuz, ſondern höchſtens Spuren davon an den äußern Farbenringen. In der Mitte aber bemerkt man einen farbigen Fleck, deſſen Farbe bei der Drehung der Polariſationsebene des Unterſuchungsapparates wechſelt. Unterſucht man die Erſcheinung im gleichfarbigen Lichte, ſo ergibt ſich eine eigenthümliche Einwirkung des Plättchens auf das parallel mit ſeiner optiſchen Axe, d. h. ſenkrecht auf ſeine Flächen hindurchgeleitete geradlinig polariſirte Licht. Es kommt nämlich dieſes Licht wohl wieder im Zuſtande der geradlinigen Polariſation aus dem Plättchen, aber ſeine Polariſationsebene iſt gegen die urſprüngliche um einen gewiſſen von der Dicke des Plättchens abhängenden Winkel gedreht, und es iſt der Drehungswinkel bei gleicher Dicke für Strahlen von verſchiedener Farbe ein anderer. Hieraus wird der Farbenwechſel bei Anwendung weißen Lichtes begreiflich. Höchſt intereſſant iſt der Umſtand, daß bei Plättchen von gleicher Dicke die Dre-

hung der Polariſationsebene einer jeden Lichtſorte in verſchiedenem Sinne erfolgen kann, nämlich Plättchen aus gewiſſen Bergkryſtall-Individuen, je dicker man ſie nimmt, um ſo mehr rechts drehend, aus anderen links drehend wirken, und daß ſchon der bloße Anblick der Kryſtallgeſtalt des Individuums, aus welchem das Plättchen genommen wird, an beſonders gelagerten trapezförmigen Flächen, die ſich häufig nächſt den Combinationskanten des ſechsſeitigen Prisma's mit der Endpyramide vorfinden, und bald von rechts nach links, bald umgekehrt liegen, auf die Richtung der Drehung zu ſchließen geſtattet. Legt man zwei Plättchen von gleicher Dicke, wovon eines rechts drehend, das andere links drehend auf die Polariſationsebene des Lichtes wirkt, über einander, ſo erblickt man im polariſirten Lichte die von Airy entdeckte, mit vier vom Mittelpuncte der Farbenringe auslaufenden Spiralen verſehene Fig. 334. Bei dem oben beſchriebenen Polariſationsinſtrumente genügt es, eine Quarzplatte auf den von Nörrenberg eingeführten horizontalen Spiegel zu legen und die Sammellinſe darüber zu halten; das Bild der Platte vertritt die Anweſenheit der zweiten entgegengeſetzt drehenden von gleicher Dicke. Gewiſſe Quarzkryſtalle liefern Plättchen, die zugleich rechts und links drehen. Eben ſo wie der Bergkryſtall im Sinne ſeiner Axe, wirkt auch eine Säule von Terpentinöhl, Citronenöhl, eine Löſung von Zucker, Dextrin, jedoch iſt der Drehungswinkel der Polariſationsebene verſchieden nach Maßgabe der Natur der Subſtanz, ihrer Dicke, und der Brechbarkeit des Lichtes. So z. B. wird nach Biot die Polariſationsebene eines gewiſſen rothen Strahls (den mit Kupferoxyd gefärbtes Glas durchläßt) durch eine fünf Millimeter dicke Quarzplatte um 92°, durch eine eben ſo dicke Terpentinſäule um 14° 3, durch eine Citronenöhlſchichte um 21° 8 gedreht. Terpentinöhl (im tropfbaren Zuſtande oder als Dampf), Lorbeeröhl, eine Löſung von Traubenzucker, der noch nicht feſt war, drehen die Polariſationsebene zur Linken; Citronenöhl, eine Löſung von Traubenzucker, der ſchon feſt war, Rohrzucker, Dextrin, Runkelrübenſaft ꝛc. von der Linken zur Rechten, ſo daß man dieſe Eigenſchaft zur Prüfung der Subſtanzen auf Zucker benützen kann.

311. Die Drehung der Polariſationsebene eines durch ein ſenkrecht gegen die Axe geſchnittenes Bergkryſtallplättchen in paralleler Richtung mit der Axe gehenden Lichtſtrahles (310) hat in der eigenthümlichen Beſchaffenheit des Bergkryſtalles ihren Grund, in Folge deren derſelbe längs ſeiner Axe nur circulare Schwingungen fortzupflanzen vermag, und zwar rechts und links vor ſich gehende Schwingungen mit verſchiedenen Geſchwindigkeiten fortpflanzt. Ein geradlinig polariſirter Strahl kann aus zwei entgegengeſetzt circular polariſirten Strahlen beſtehend gedacht werden, da ſich jede geradlinige Schwingung in zwei entgegengeſetzte circulare zerlegen läßt. Tritt nun ein geradlinig polariſirter Strahl in ein Bergkryſtallplättchen von der erwähnten Art, ſo ſtehen die beiden circularen Beſtandtheile desſelben bei dem Austreten in einer Phaſendifferenz; indem ſie ſich wie-

der zu einer geradlinigen Schwingung zuſammenſetzen, wird die Richtung dieſer eine andere ſeyn. Verſchiedene Bergkryſtall-Individuen unterſcheiden ſich dadurch, daß einige rechts circulares, andere links circulares Licht mit größerer Geſchwindigkeit fortpflanzen. Hieraus erklärt ſich die Drehung der Polariſationsebene im entgegengeſetzten Sinne, die gleich dicke Platten aus verſchiedenen Bergkryſtall-Individuen bewerkſtelligen. Die eigenthümliche drehende Wirkung gewiſſer tropfbar flüſſiger Subſtanzen auf die Polariſationsrichtung des durchſelbe geleiteten Lichtes muß eben ſo erklärt werden. Die verſchiedene Geſchwindigkeit des Lichtes längs der Axe des Bergkryſtalles wurde übrigens von Fresnel, dem wir obige Erklärung verdanken, durch directe Verſuche bekräftigt, indem es ihm gelang, die beiden entgegengeſetzt polariſirten Strahlen mittelſt eines aus rechts und links drehenden Prismen zuſammengeſetzten rechtwinkligen Parallelepipeds zu trennen, und ihren circularen Polariſationszuſtand nachzuweiſen. (Pogg. Ann. 21. 276.)

312. So wie ungleichförmig erwärmtes, oder ſchnell gekühltes oder gepreßtes Glas das Vermögen erlangt das Licht doppelt zu brechen, eben ſo zeigt es im polariſirten Lichte Farbenerſcheinungen, die auf der Interferenz der Componenten der durch doppelte Brechung entſtandenen Strahlen beruhen. Da aber hier die brechende Kraft von Theilchen zu Theilchen eine andere iſt, ſo wechſelt hiemit die Färbung von Stelle zu Stelle ſelbſt in einem Bündel paralleler Lichtſtrahlen. Erſcheinungen dieſer Art wurden zuerſt von Seebeck und Brewſter entdeckt. Hält man eine Platte von dickem Spiegelglaſe, die im Polariſationsinſtrumente keine Farben zeigt, an ſtark erhitztes Eiſen, ſo bemerkt man, zumal wenn man die Platte über den horizontalen Spiegel des genannten Inſtrumentes bringt und mit einem der Analyſirungsapparate unterſucht, daß in derſelben parallele Streifen (Fig. 335) entſtehen, ſo wie ſich die Wärme durch ſie fortpflanzt. Die Farben dieſer Streifen gehen alſogleich in die complementären über, wenn man den analyſirenden Apparat um 90° dreht, oder ſie bald im durchgelaſſenen, bald im reflectirten Lichte anſieht; ſie verlieren ſich aber ganz, wenn ſich die Wärme bereits gleichförmig in der ganzen Platte verbreitet hat. Es iſt in Betreff der Farben einerlei, ob man eine einzige dicke Platte oder mehrere dünne nimmt, die zuſammen jener an Dicke gleichen. Bekommt eine Platte während des Erwärmens einen Riß, ſo erſcheinen in jedem Stücke die Farben abgeſondert wie in einem Ganzen; verbindet man wieder beide Theile durch Kitt, ſo iſt es, als wäre nie ein Bruch erfolgt. Dieſelben Erſcheinungen ergeben ſich, nur in Betreff der Farbenfolge in umgekehrter Ordnung, wenn man heißes Glas an kaltes Eiſen anhält. Am leichteſten macht man dieſen Verſuch, wenn man ſich einer metallenen Rahme bedient, in welche ein Glaswürfel genau paßt. Erhitzt man die Rahme und legt dann den Würfel hinein, ſo erſcheint im Polariſationsinſtrumente nach Maßgabe des Eindringens der Wärme in den Würfel eine farbige Zeichnung, wie Fig. 336 darſtellt; an den Ecken zeigen ſich Pfauenaugen,

die durch ein ſchwarzes, oder bei geänderter Stellung des analyſirenden Apparates, wobei die complementäre Erſcheinung auftritt, durch ein weißes Kreuz getrennt ſind. Hat der Glaswürfel eine gleichförmige Temperatur angenommen, ſo iſt die Erſcheinung wieder verſchwunden; legt man aber jetzt den heißen Würfel in eine kalte Metallrahme, ſo beginnt das Farbenſpiel von Neuem. Dreht man die Rahme ſammt dem Würfel, ſo ergeben ſich andere ſehr gefällige Formen der Zeichnung. Man kann dieſe Erſcheinung ſehr einfach hervorrufen, wenn man einen Glaswürfel, der im polariſirten Lichte keine Farben zeigt, mit einer Drahtlage umgibt, ſo daß bloß die obere und untere Fläche unbekleidet bleibt, und ihn ſodann über einer Spiritusflamme erhitzt. Ein Glascylinder auf gleiche Weiſe behandelt, zeigt ein Kreuz mit concentriſchen Farbenringen, ähnlich der Figur an einem ſenkrecht gegen die Axe geſchnittenen Kalkſpathplättchen. Man kann auch den Glaskörper mit einer Höhlung verſehen und heißes Queckſilber hineingießen. Alle dieſe Farbenerſcheinungen laſſen ſich bleibend machen, wenn man das ſtark erhitzte Glas raſch abkühlt, und dadurch die Anordnung der Theilchen, welche bei ungleicher Erwärmung Statt findet, fixirt. Mehrere ſchnell gekühlte, über einander gelegte quadratiſche Glasplatten vertreten einen maſſiven Würfel vollkommen. Endlich kann man dem Glaſe die hier betrachtete Eigenſchaft noch durch äußeren Druck beibringen. Nimmt man einen Glaswürfel, der im polariſirten Lichte keine beſondere Farbe zeigt, gibt ihn in eine kleine Preſſe, drückt ihn mäßig zuſammen, und betrachtet ihn mittelſt des Polariſationsinſtrumentes, ſo zeigt ſich eine Farbenerſcheinung, die nach Beſchaffenheit der Stärke des Druckes ſich ändert. Sehr regelmäßig ſtellt ſich die Zeichnung dar, wenn die Preſſe den Würfel bloß an zwei einander gegenüber liegenden Stellen drückt. Aehnliche Erſcheinungen bringt man auch durch Dehnen des Glaſes zu Stande. Biegt man einen Glasſtreifen, ſo ſieht man ihn an der ſchmalen Seite im polariſirten Lichte mit parallelen Farbenſtreifen, die in der Mitte durch eine ſchwarze Linie verbunden ſind. Auch während man einen Glasſtab zum Tönen bringt, wirkt er doppelt brechend auf das Licht, wie die Beobachtung mittelſt des Polariſationsinſtrumentes lehrt. Eine ſenkrecht auf die Axe geſchnittene, an zwei gegenüber liegenden Puncten der Seitenfläche gepreßte Quarzplatte, zeigt im polariſirten Lichte das Ringſyſtem eines zweiaxigen Kryſtalles. Aehnliche Erſcheinungen wie die vorgenannten, bemerkte Seebeck an ſchnell entſtandenen Kryſtallen von Borax, Kochſalz, in Gummiſtücken und in thieriſchen Subſtanzen; ja ſelbſt im Diamante, ſonſt einem einfach brechenden Körper, will ſie Brewſter geſehen haben.

313. Der innige Zuſammenhang, welcher zwiſchen der Polariſation und doppelten Brechung Statt findet, läßt häufig von einer derſelben auf die andere ſchließen, und da die doppelte Brechung mit dem Kryſtalliſationszuſtande der Körper ſo genau zuſammenhängt, ſo wird durch die Polariſation auch oft ein Schluß auf die Kryſtallform der Stoffe gerechtfertigt. Der kleinſte Splitter eines doppelt brechenden

Körpers polariſirt das Licht vollkommen, und die Polariſationsrichtung geſtattet einen Schluß auf die Lage des Hauptſchnittes. Die Farbenringe, welche ſolche Körper im polariſirten Lichte zeigen, geben Anzeigen über die Anzahl und Lage der Axen, über ihre Aenderung durch Druck, Erwärmung ꝛc. Körper, deren doppelte Brechung bekannt iſt, werden mit Vortheil zur Beſtimmung des Polariſationszuſtandes des Lichtes gebraucht.

Will man erfahren, ob ein Körper das Licht doppelt breche oder nicht, ſo gebe man ihn zwiſchen zwei Turmalinplättchen, wie ſie früher beſchrieben worden ſind, deren Axen aber ſich rechtwinkelig durchkreuzen (oder auch zwiſchen zwei Nicol'ſche Prismen, die eben ſo gelegt ſind). Dieſe erſcheinen undurchſichtig, ſo lange ſich gar nichts oder ein das Licht einfach brechender Körper zwiſchen ihnen befindet. Wie aber eine doppelt brechende Subſtanz dazwiſchen kommt, ſo werden ſie augenblicklich durchſichtig oder wenigſtens durchſcheinend. Will man unterſuchen, ob ein Strahl polariſirt ſey oder nicht, ſo leite man ihn durch einen Doppelſpath. Kann man beim Drehen deſſelben eine Lage finden, wo nur ein Bild entſteht, ſo iſt der Strahl polariſirt; ja ſelbſt wenn man keine ſolche Lage ausfindig machen kann, und zwei Bilder entſtehen, ſo läßt ſich aus der Gleichheit oder Verſchiedenheit ihrer Intenſität erkennen, ob der Strahl gar nicht, oder nur zum Theile polariſirt ſey. Man kann die zur Entſtehung polariſirter Farbenringe nöthigen Bedingungen dazu benützen, zu erforſchen, ob die von der Luft und von Wolken reflectirten oder von leuchtenden Körpern verſchiedener Art ausgehenden Strahlen polariſirt ſeyen oder nicht. Hierauf gründen ſich die ſogenannten Polariſkope, dergleichen Arago, Biot, Savart angegeben haben. Wird nämlich an ein Turmalinplättchen, das parallel mit der Axe des Kryſtalls geſchnitten iſt, ein ſenkrecht auf die Axe geſchnittenes Bergkryſtallplättchen oder ein ſolches Doppelſpathplättchen befeſtigt, ſo darf man nur erſteres nahe vor das Auge halten, und ſehen, ob Farbenringe bemerklich ſind oder nicht. Finden dieſe Statt, ſo muß offenbar das einfallende Licht polariſirt ſeyn. Die von Savart zu dieſem Behufe angewendeten, unter 45° gegen die Axe geſchnittenen Bergkryſtallplatten, mit gekreuzten Hauptſchnitten über einander gelegt und mit einem Turmalinplättchen verſehen, deſſen Axe den Winkel der erſteren halbirt, laſſen bei der geringſten Spur von polariſirtem Licht geradlinige Streifen wahrnehmen, deren Richtung, wenn das Ganze in der Ebene der Plättchen ſo gedreht wird, daß dieſelben in größter Intenſität und mit einem ſchwarzen Mittelſtreifen erſcheinen, mit der Polariſationsrichtung des Lichtes übereinſtimmt. Bei circular polariſirtem Lichte bleibt das Ausſehen dieſer Streifen ſtets dasſelbe, wenn man das Polariſkop um eine auf der Ebene der Plättchen ſenkrechte Axe dreht. Ueberhaupt ſind die Erſcheinungen, welche Kryſtallplättchen, die durch ſenkrecht auf die optiſche Axe geführte Schnitte entſtehen, im polariſirten Lichte gewähren, beſonders geeignet, um die Lage der Axen der doppelten Brechung auszumitteln, und bei ſolchen, welche zwei derlei Axen haben, den Neigungswinkel derſelben zu beſtimmen; denn die Ringe erſcheinen bei einaxigen Plättchen nur dann kreisförmig, wenn die Axe des Strahlenkegels mit der Brechungsaxe des Kryſtalls parallel iſt, und in ſolchen Plättchen, deren Axen wenig gegen einander geneigt ſind, und demnach gegenſeitig ihre Farbenringe modificiren, zeigen die zwei Mittelpuncte der ovalen Ringe die Pole der Brechungsaxen an. Leitet man durch ein ſolches Plättchen homogenes Licht, ſo erſcheinen offen-

bar nur die demſelben entſprechenden Ringe und auch die ihm entſprechende Axe. Vergleicht man ihre Lage in verſchiedenem homogenen Lichte, bei verſchiedenen Temperaturgraden ꝛc.; ſo erfährt man, daß in ſolchen Kryſtallen jedem farbigen Strahle eine beſondere Axe der doppelten Brechung entſpreche, daß die Axen in einigen merklich von einander abweichen, in anderen nahe zuſammenfallen, daß nicht alle derſelben in einer Ebene liegen, kurz alles das, was (282) von den Brechungsaxen geſagt wurde. Merkwürdig iſt die Aenderung der Lage der Axen bei dem Weißbleierz durch Erwärmung, welche man gut wahrnimmt, wenn man eine Platte dieſes Kryſtalls zwiſchen zwei Turmalinplatten in den Brennpunct einer Sammellinſe, worauf man Sonnenlicht geleitet hat, bringt, und die Erſcheinung auf einen weißen Schirm fallen läßt. Die raſche Aenderung in dem Farbenphänomen läßt ein Auseinanderweichen der Axen bei Erhöhung der Temperatur erkennen. Auch Anomalien in der Zuſammenſetzung kryſtalliſirter Körper geben ſich durch Verzerrung der Ringe zu erkennen. (Zeitſchr. 1. 30; 7. 81. Pogg. Ann. 8. 520; 17. 1; 26. 302; 26 308; 27. 480; 27. 504. Schweigg. Journ. 49. 167; 69. 140.) Man hat ſogar die feineren materiellen Unterſchiede vieler Subſtanzen aus ihrer doppelt brechenden und polariſirenden Eigenſchaft zuerſt erkannt, wiewohl dieſe Unterſchiede ſo gering waren, daß man ſie bei chemiſchen Analyſen gar leicht überſehen konnte. So hielt man längere Zeit hindurch alle Körper, die unter dem Namen Glimmer vorkommen, für ganz gleichartig, bis Biot aus ihrem optiſchen Verhalten erklärte, daß es Glimmer mit einer und mit zwei Brechungsaxen gebe, und daß mancher abſtoßend, ein anderer anziehend wirke, und dadurch die Chemiker veranlaßte, dieſe Körper einer genaueren Unterſuchung zu unterwerfen, wobei ſich zeigte, daß ihrem beſonderen optiſchen Verhalten auch eine beſondere materielle Beſchaffenheit entſpreche.

Siebentes Kapitel.

Farben dünner Plättchen.

314. Seit Hook und Newton weiß man, daß jede ſehr dünne Schichte, jedes feine Plättchen aus einer durchſichtigen Subſtanz, ja ſelbſt der von ſehr nahen Körperflächen begrenzte luftleere Raum eigenthümliche Farben zeigt, die mit der natürlichen Färbung größerer Maſſen der betreffenden Körper nichts gemein haben, da ſie ſich anders im reflectirten, als im durchgelaſſenen Lichte darſtellen, und nicht bloß von der Natur der Plättchen abhängen, ſondern mit der Dicke derſelben und ſogar mit dem Einfallswinkel des Lichtes ſich ändern. Das bekannteſte und auffallendſte Beiſpiel dieſer Claſſe von Erſcheinungen bieten die Seifenblaſen dar; ähnliche Farbenphänomene findet man an dünnem Glaſe, dünnen Glimmerplättchen, dünnen, auf Waſſer ſchwimmenden Oehlſchichten, überhaupt an jedem ſehr dünnen Ueberzuge eines Körpers (Nobili's Figuren 153), an feinen Sprüngen im Innern der Körper, an Fiſchſchuppen u. dgl. Schon Newton hatte die Geſetze dieſer Phänomene mit muſterhafter Genauigkeit erforſcht; allein eine haltbare Erklärung derſelben konnte erſt nach ge-

höriger Begründung der Undulationstheorie gegeben werden, da ſie die Geſetze der Interferenz und die genaue Kenntniß der Intenſität des Lichtes durch Reflexion und Brechung, mithin die ſubtilſten Reſultate der Lehre von der Polariſation in Anſpruch nimmt. Dieſe Erklärung iſt eine der ſchönſten Leiſtungen der neueſten phyſikaliſchen Optik; ſie gelang erſt nach wiederholten Angriffen, welche der Undulationstheorie die unwiderleglichſten Argumente gewonnen haben.

315. Um die Geſetze dieſer Erſcheinungen erforſchen zu können, muß man vor allem verſuchen, ſie an Plättchen von einerlei Natur und verſchiedener aber bekannter Dicke hervorzubringen. Dazu dient nun ganz vorzüglich Newton's Farbenglas, eine ebene Glasplatte, auf die man ein wohl centrirtes Converglas von großem Halbmeſſer legt. Letzteres berührt nämlich jene Platte an einer Stelle, und ſteht rings um dieſe Stelle in gleicher Entfernung gleich weit von ihr ab, und man kann dieſen Abſtand genau kennen lernen. Gibt man demnach in den Raum zwiſchen den zwei Gläſern irgend eine Flüſſigkeit, z. B. atm. Luft, Waſſer, Weingeiſt ꝛc., ſo füllt ſie denſelben aus, und bildet daher gleichſam concentriſche, an Dicke nach außen wachſende ringförmige Plättchen, ja ſelbſt, wenn man daraus alles Materielle, ſo gut man kann, entfernt, ſo erhält man einen von ſehr wenig von einander abſtehenden Flächen begrenzten Raum. Das Farbenglas bietet nun Folgendes dar: Sieht man von oben darauf herab, ſo erblickt man, wenn beide Gläſer einander gut berühren, in der Mitte einen ſchwarzen Fleck; dieſen umgeben mehrere concentriſche Farbenringe, auf ſie folgt wieder ein dunkler Ring, hierauf wieder ein farbiger und ſo abwechſelnd fort; die Farben werden immer ſchwächer, je größer die Ringe ſind, und verlieren ſich endlich ganz. Aehnliche Farbenringe bemerkt man auch im durchgelaſſenen Lichte, ſie ſind aber minder hell und an Farbe verſchieden; jedem Ringe, der im reflectirten Lichte ſich zeigt, entſpricht im durchgelaſſenen ein anderer, deſſen Farbe jene zu Weiß ergänzt. Die Farben folgen beſtändig in derſelben Ordnung auf einander, ſie erſcheinen im luftleeren Raume, in verdünnter Luft, ja ſelbſt, wenn ſtatt Luft eine andere Flüſſigkeit, z. B. Waſſer, Weingeiſt, zwiſchen den Gläſern enthalten iſt; der einzige Unterſchied beſteht in der verſchiedenen Lebhaftigkeit der Farben und im Durchmeſſer der Ringe. In der Regel iſt die Lebhaftigkeit der Farben größer in verdünnter Luft, als in Luft von natürlicher Dichte, und hier wieder größer, als wenn Waſſer zwiſchen den Gläſern ſteht. Die Größe eines Ringes von beſtimmter Farbe nimmt zu, wenn man ihn ſchief anſieht, die Gläſer ſcharf an einander drückt oder das Brechungsvermögen der zwiſchen den Gläſern enthaltenen Flüſſigkeit vermindert. Newton maß die Durchmeſſer dieſer Ringe mit einer muſterhaften Genauigkeit bei verſchiedenen Einfallswinkeln des Lichtes und bei verſchiedenen Flüſſigkeiten, und überzeugte ſich, daß unter übrigens gleichen Umſtänden der Durchmeſſer eines Ringes in demſelben Verhältniſſe kleiner werde, in welchem das Brechungsvermögen der Flüſſigkeit zunimmt; eine Wahrheit, die deßhalb ſehr wichtig iſt,

weil ſie lehrt, wie man die bei einer Flüſſigkeit erhaltenen Reſultate auf alle anderen ausdehnen kann.

Die Ordnung der Farben iſt von der Mitte aus folgende: 1. Reihe: Schwarz, blau, weiß, gelb, orange, roth. 2. Reihe: Violett, indigoblau, blau, grün, gelb, orange, hellroth, ſcharlachroth. 3. Reihe: Purpurroth, indigoblau, blau, grün, roth, bläulichroth. 4. Reihe: Bläulichgrün, grün, roth. 5. Reihe: Grünlichblau, blaßroth. 6. Reihe: Grünlichblau, röthlichweiß. 7. Reihe: Grünlichblau, ſchwach röthlichweiß. Dieſe Farbenfolge iſt jener an den Farbenringen einer ſenkrecht gegen die Axe geſchnittenen Doppelſpathplatte u. a. im polariſirten Lichte völlig gleich. Um die Newton'ſchen Ringe auf eine Wand zu projiciren und ſie dadurch mehreren Perſonen zugleich und vergrößert wahrnehmbar zu machen, laſſe man mittelſt eines Sammelglaſes, in deſſen Brennpunct man ein gutes Farbenglas bringt, im verdunkelten Zimmer einen Kegel convergirender Sonnenſtrahlen ſchief darauf fallen; der reflectirte Strahlenkegel ſtellt an der Wand oder auf einem Schirme die Erſcheinung lebhaft dar.

316. So betrachtet war das Phänomen der Farbenringe wegen des Zuſammenwirkens der verſchiedenen Beſtandtheile des einfallenden Lichtes zu verwickelt, um die Geſetze desſelben vollſtändig zu überſehen. Um es in ſeine Elemente zu zerlegen, ließ Newton auf das Farbenglas gleichartiges Licht fallen. Da zeigten ſich folgende Erſcheinungen: 1) Jeder gleichartige Strahl erzeugt Ringe von ſeiner eigenen Farbe, ſowohl durch Reflexion als durch Transmiſſion. 2) Jeder Ring iſt ſowohl im reflectirten als durchgelaſſenen Lichte von dem folgenden durch einen dunklen Zwiſchenraum getrennt; man kann deßhalb jeden einzelnen beſſer als im vollen Lichte, und deren auch mehrere wahrnehmen. Der dunkle Zwiſchenraum wird deſto ſchmäler, je mehr ſich die Ringe vom Mittelpuncte entfernen. 3) Jedem dunklen Zwiſchenraume im reflectirten Lichte entſpricht im durchgelaſſenen ein farbiger Ring, und wo im letzteren der dunkle Zwiſchenraum iſt, da befindet ſich im erſteren ein Farbenring; jedoch ſind dieſe dunklen Stellen minder lichtarm als im reflectirten Lichte. 4) Sowohl die reflectirten als die durchgelaſſenen Lichtringe haben eine angebbare Breite, die aber nicht gleichförmig beleuchtet iſt, ſondern die Lichtſtärke verliert ſich von einem Kreiſe in der Mitte jedes Ringes aus allmälig. 5) Bei jeder Lichtgattung nehmen die Quadrate der Halbmeſſer der reflectirten Farbenringe, und folglich die Abſtände der einander zugekehrten inneren Glasflächen oder die Dicken der farbigen Schichte vom hellſten Puncte an gerechnet zu, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 ꝛc. 6) Die Quadrate der Halbmeſſer der dunklen Zwiſchenräume oder die Dicken der wirkenden Lamelle an den betreffenden Stellen wachſen wie die geraden Zahlen 2, 4, 6 ꝛc. 7) Bei den durchgelaſſenen Farbenringen entſpricht der hellſte Kreis dem dunkelſten im reflectirten Lichte; es findet daher hier dasſelbe Verhältniß bei den dunklen Zwiſchenräumen Statt, wie im reflectirten Lichte bei den farbigen Ringen, und umgekehrt. 8) Der Durchmeſſer eines Ringes von derſelben Ordnung wird deſto kleiner, je brechbarer das Licht iſt, das ihn bildet. So iſt z. B. der vierte Ring im rothen Lichte größer als der vierte im gelben oder grünen.

Dieſes erſtreckt ſich ſogar auf die Unterſchiede der Brechbarkeit im Lichte von derſelben Farbe; denn ein Ring im Lichte vom äußerſten Roth des prismatiſchen Farbenbildes erſcheint größer, als einer von derſelben Ordnung, der vom mittleren Roth entſtand. 9) Auch die Breite eines Ringes derſelben Ordnung iſt deſto kleiner, je größer die Brechbarkeit des ihn bildenden Lichtes iſt. 10) Die Ringe ſind in jedem Strahle am kleinſten, wenn das Licht ſenkrecht durch die Luftſchichte geht, und werden deſto größer, je ſchiefer der Strahl einfällt.

317. Alle dieſe Phänomene gründen ſich auf die Interferenz des Lichtes. Vorerſt kann einem die Aehnlichkeit zwiſchen den Interferenzphänomenen im weißen und farbigen Lichte mit jenen der Farbenringe bei weißer und farbiger Beleuchtung nicht entgehen. So wie die Interferenzphänomene im weißen Lichte aus dem theilweiſen Zuſammentreffen der einzelnen von jedem farbigen Strahle herrührenden dunklen und farbigen Streifen herrühren (221, 242), eben ſo geht es hier. Es entſtehen nämlich von jedem Strahle ſo viele Ringſyſteme, als er Theile von verſchiedener Brechbarkeit enthält; viele dieſer Ringe fallen zum Theile auf einander, und bringen durch ihren Geſammteindruck die Empfindung der Mittelfarben hervor, wie ſie ſich am Farbenglaſe zeigen. Daß dieſe Anſicht die wahre ſey, kann man ſchon hieraus abnehmen, daß, wenn man ihr gemäß unterſucht, welche Ringe auf einem Theile des Glaſes entſtehen, und welche Farbe ſie zuſammen hervorbringen müſſen, dieſe Farbe genau diejenige iſt, welche der Verſuch nachweiſet. Daß aber der Grund dieſer Erſcheinungen nur in der Interferenz des von beiden Flächen des dünnen Plättchens ins Auge kommenden Lichtes zu ſuchen ſey, wird zur Gewißheit erhoben, wenn man auf experimentellem Wege zu zeigen vermag, daß das Licht beider Flächen zur Hervorbringung der Erſcheinung weſentlich nothwendig iſt. Solche Beweiſe hat Airy gegeben. Legt man eine große Converlinſe mit ſchwach gekrümmten Flächen auf einen Metallſpiegel und läßt darauf Licht fallen, ſo zeigen ſich die Newton'ſchen Farbenringe. Gibt man dem einfallenden Lichtbündel gegen die Glasflächen jene Neigung, die zur Polariſirung deſſelben nothwendig iſt, und betrachtet ſodann die Erſcheinung mittelſt eines Turmalinplättchens oder Nicol'ſchen Prisma's in ſolcher Lage, daß das von den Glasflächen reflectirte Licht weggeſchafft wird, ſo bleibt noch ein Theil des von der Metallfläche reflectirten Lichtes zurück, allein die Farbenringe verſchwinden gänzlich. Dasſelbe geſchieht, wenn man gleich urſprünglich zur Beleuchtung des Apparates einen ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirten Lichtbündel verwendet. Sehr wichtig ſind die Aenderungen, denen der bei der gewöhnlichen Verſuchsweiſe dunkle Fleck in der Mitte der Farbenringe unterliegt, wenn die untere Fläche eine Metallfläche iſt, und das nicht unter dem Polariſationswinkel einfallende Licht vor oder nach der Reflexion ſenkrecht gegen die Einfallsebene polariſirt worden iſt. Iſt nämlich der Einfallswinkel kleiner als der Polariſationswinkel, ſo erſcheint dieſer Fleck dunkel; er wird hingegen weiß

geſehen, wenn der Einfallswinkel größer iſt als der Polariſationswinkel. (Airy in Pogg. Ann. 26. 123.)

318. Die Erklärung der in Rede ſtehenden Erſcheinungen nach dem Principe der Interferenz iſt folgende: Es ſey MN (Fig. 336) ein dünnes Plättchen aus einer durchſichtigen Subſtanz mit ebenen und parallelen Flächen. Auf dasſelbe falle von einer Lichtquelle, deren Diſtanz vom Plättchen die Dicke desſelben viele Male übertrifft, ein Strahl SA. Ein Theil desſelben wird nach AO reflectirt, der andere dringt nach AB in das Plättchen ein. Dieſer letztere liefert wieder einen nach BO′ aus dem Plättchen austretenden Theil. Außer dem Strahle SA gibt es noch eine Menge andere S′A′, S″A″, ... welche, nachdem ſie im Innern des Plättchens ein, zwei, drei ... Male reflectirt worden ſind, gleichfalls nach den Richtungen AO, BO′ Licht ſenden. Die Einfallspuncte dieſer Strahlen werden durch die Bedingung beſtimmt, daß die Winkel, welche B′A, A′B′, B″A′, A″B″ u. ſ. w. mit den Flächen von MN bilden, den Winkeln, welche AB mit dieſen Flächen macht, gleich kommen. Die Intenſitäten der Beſtandtheile, welche ſich zu dem nach AO, BO′ fortgepflanzten Lichte vereinigen, ſind um ſo geringer, je weiter die Einfallspuncte der betreffenden Strahlen von A entfernt ſtehen; die Schwingungen, welche in den Strahlen AO, BO′ zuſammen kommen, befinden ſich in verſchiedenen Phaſen; da dieſe in einer auf die Richtungen SA, S′A′, S″A″, ... ſenkrechten Ebene als gleich betrachtet werden können, ſo laſſen ſich ihre Unterſchiede, gleichwie die Intenſitäten der entſprechenden Strahlen, aus der gemeinſchaftlichen Incidenz und Farbe der Strahlen, aus der Dicke und dem Brechungsindex des Plättchens beſtimmen, und darnach die Intenſitäten der zuſammengeſetzten Strahlen AO, BO′ berechnen. Die Reſultate dieſer Rechnung harmoniren mit den Ergebniſſen der Beobachtung auf das Genaueſte.

Um an dem einfachſten Falle der Rechnung einen Begriff von dem Gange derſelben zu geben, ſoll hier gezeigt werden, daß an der Berührungsſtelle der zwei Gläſer des Newton'ſchen Apparates zur Darſtellung der Farbenringe nothwendig im ſenkrecht reflectirten Lichte ein dunkler Fleck erſcheinen muß. Es ſeyen nämlich r, ρ die Brüche, mit welchen man die Vibrationsintenſität des Lichtes multipliciren muß, um deren Werth nach einer äußern und innern Reflexion zu erhalten; ähnliche Multiplicatoren ſeyen s und σ für eine innere und äußere Brechung. Wird die Schwingungsintenſität des einfallenden Lichtes $= 1$ geſetzt, ſo findet man die Schwingungsintenſität 1) des an der äußeren Fläche reflectirten Lichtes $= r$; 2) des Strahles, der nach ſeinem Eindringen in das Plättchen an der Hinterfläche eine Reflexion erleidet, und ſodann an der Vorderfläche austritt $= s\rho\sigma$; 3) des Strahles, der nach drei Reflexionen im Plättchen aus demſelben kommt $= s\rho^3\sigma$ u. ſ. w. Nennt man die Schwingungsintenſität des reſultirenden Strahles v, ſo hat man, weil in dem vorliegenden Falle die Dicke des Plättchens $= 0$ anzunehmen iſt, mithin kein Gangunterſchied der Strahlen Statt findet,

$$v = r + s\rho\sigma + s\rho^2\sigma + s\rho^5\sigma + \ldots = r + s\rho\sigma\,(1 + \rho^2 + \rho^4 + \ldots)$$

$$= r + \frac{s\rho\sigma}{1-\rho^2} = \frac{r + \rho\,(s\sigma - r\rho)}{1-\rho^2}.$$

Iſt n der Brechungsindex für den Uebergang des Lichtes aus der Luft in das Plättchen, ſo hat man nach den in 295 gegebenen Formeln, wenn man α und β als ſehr klein betrachtet und $\alpha = n\beta$ ſetzt, $r = -\frac{n-1}{n+1}$, folglich nach Vertauſchung von n mit $\frac{1}{n}$, $\rho = \frac{n-1}{n+1}$, alſo $\rho = -r$. Ferner hat man, unter der Annahme, daß ſich die Intenſität des einfallenden Lichtes in jene des reflectirten und gebrochenen theilt, $s^2 = 1 - r^2$, alſo $s^2 = 1 - \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 = \frac{4n}{(n+1)^2}$, und eben ſo $\sigma^2 = \frac{4n}{(n+1)^2}$, mithin $s\sigma = \frac{4n}{(n+1)^2}$ und $r\rho = -\frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$, alſo $s\sigma - r\rho = \frac{4n + (n-1)^2}{(n+1)^2} = 1$. Mit Rückſicht auf dieſe Reſultate ergibt ſich $v = 0$. Der Gegenſatz der Zeichen von r und ρ iſt dem Verluſte einer halben Undulation bei der Reflexion an der inneren Fläche im Vergleiche mit jener an der äußeren äquivalent, und entſpricht vollkommen der im erſten Theile 370 betrachteten Umkehrung der Lage der reflectirten Welle.

Als ein Beleg, wie man in der Emantionshypotheſe zu verfahren genöthiget war, mag die Art dienen, auf welche Newton das Phänomen der Farben dünner Plättchen, um deſſen Beobachtung er ſo große Verdienſte hat, auffaßte. Er ſah darin die Andeutung einer dem Lichte eigenen Qualität, vermöge welcher ſich die Theilchen deſſelben in periodiſch wechſelnden Zuſtänden befinden, mit denen in gleichem Maße die Dispoſition zur Reflexion und zur Transmiſſion wechſelt. Dieſe Variationen des Zuſtandes nannte er Anwandlungen zur leichteren Reflexion und Transmiſſion (*accessus facilioris reflexionis et transmissionis*), und den Weg, den ein Lichttheilchen durchläuft, bis es die am Anfange deſſelben gehabte Anwandlung wieder erlangt, welcher Weg wegen der gleichförmigen Bewegung in demſelben Mittel und wegen der gleichen Dauer der Anwandlungen für Lichttheilchen von einer beſtimmten Farbe conſtant iſt, Intervall der Anwandlungen. Er nahm an, dieſes Intervall variire bei dem ſenkrechten Uebergange des Lichtes in ein neues Medium, und verhalte ſich zu dem früheren wie der Brechungsexponent zur Einheit; bei ſchiefer Incidenz dependire es überdieß vom Einfallswinkel, und ſey unter gleichen Umſtänden um ſo kleiner, je weiter die Farbe des Lichtes im Spectrum vom Roth entfernt ſteht. Ein Lichttheilchen, welches reflectirt wird, nachdem es in ein Mittel bis zu einer gewiſſen Tiefe = c eingedrungen iſt, wird dem gemäß gleichfalls reflectirt, wenn die Schichte des Mittels die Dicke 3 c, 5 c, 7 c u. ſ. w. hat, dagegen durchgelaſſen, wenn die Dicke der Schichte 2 c, 4 c, 6 c u. ſ. w. iſt. Da am Newton'ſchen Farbenglaſe die Quadrate der Halbmeſſer der abwechſelnd hellen und dunklen Ringe wie die natürlichen Zahlen, und eben ſo die den Ringen entſprechenden Dicken der zwiſchen den Gläſern befindlichen Schichten wachſen, ſo folgt hieraus das Phänomen der Farbenringe von ſelbſt. Newton beſtimmte die Größe von c für die verſchiedenen farbigen Strahlen; der Werth derſelben iſt dem vierten Theile der Länge einer Lichtwelle gleich. Aber dieß iſt keine Erklärung der Farbenerſcheinungen dünner Plättchen; ja nicht einmal das Verdienſt, ein allgemeiner Ausdruck des Phänomens zu ſeyn, kommt dieſer Darſtellung zu, ſeitdem bewieſen wurde, daß das an der oberen Fläche eines

Plättchens reflectirte, alſo gar nicht eingedrungene Licht zur Hervorbringung der Erſcheinung eben ſo weſentlich beiträgt, wie letzteres.

Young, der die Erklärung der Newton'ſchen Farben nach der Undulationstheorie zuerſt gab, betrachtete dabei bloß die zwei Strahlen S A und S′A′; daß es nöthig ſey, eine unendliche Anzahl von Reflexionen in Erwägung zu ziehen, bemerkte zuerſt Poiſſon. Fresnel trug ſeinerſeits zur Aufklärung des Gegenſtandes bei. Eine vollſtändige Theorie gibt Airy (Pogg. Ann. 41. 512).

Nebſt den Farbenphänomenen dünner Plättchen zeigen ſich unter günſtigen Umſtänden auch derlei Erſcheinungen an dicken Platten. Sie rühren von der Interferenz von Strahlenſyſtemen her, welche mehrere Brechungen und Reflexionen erlitten haben. Solche hat in der That Brewſter an Luftſchichten wahrgenommen, welche zwiſchen parallelen Glasplatten oder zwiſchen einer hohlen und einer erhabenen Linſe enthalten ſind (Pogg. Ann. 26. 150). Schließt man das eine Ende einer Röhre von etwa 10 Zoll Länge mit einem Deckel, worin ſich eine rechtwinklige Oeffnung von etwa ½ Zoll Breite befindet, und deckt das andere Ende mit einer Glasplatte, gegen welche eine zweite unter einem ſehr kleinen Winkel geneigte geſtellt iſt, und ſieht man durch die Glasplatten gegen die Oeffnung am andern Ende, ſo zeigen ſich bei hinreichendem Lichte mehrere den Interferenzſtreifen ähnliche Farbenſpectra, die der Kante des Winkels der Glasplatten parallel ſind.

Achtes Kapitel.

Erleuchtung und Abſorption des Lichtes.

319. Ein leuchtender Punct ſendet ringsum Strahlen von gleicher Intenſität aus. Denkt man ſich einen ſolchen Punct als Centrum einer Kugelfläche, ſo fällt jeder ausgehende Strahl ſenkrecht auf dieſe Fläche auf und erleuchtet ſie, und gleiche Flächen werden offenbar von gleichen Lichtmengen, d. h. von gleich dichtem Lichte getroffen. Die Lichtmengen, welche daher zwei ungleich große Stücke einer ſolchen Fläche treffen, verhalten ſich offenbar direct wie die Leuchtkraft (der Glanz) der leuchtenden Puncte und die Größe der betreffenden Flächen. Denkt man ſich den Halbmeſſer der Kugelfläche größer, ſo entſteht eine neue Kugelfläche, die im Verhältniſſe des Quadrates des Halbmeſſers größer iſt, ohne doch mehr Licht zu erhalten, als die erſtere. Daher ſteht die Dichte des Lichtes, welches ein leuchtender Punct auf Stücke von Kugelflächen ſendet, bei demſelben Glanze der Lichtquelle im verkehrten Verhältniſſe mit dem Quadrate der Entfernung dieſer Fläche von der Lichtquelle. Iſt die erleuchtete Fläche nicht eine Kugelfläche, in deren Mittelpunct ſich der leuchtende Punct befindet, ſo kann man die Strahlen nur auf ein ſehr kleines Stück (ein Element) derſelben für ſenkrecht annehmen, und die Beleuchtung nach obiger Regel berechnen, die andern werden von den Lichtſtrahlen ſchief getroffen und nach einem andern Geſetze erleuchtet. Man nimmt allgemein an, daß die Erleuchtung bei übrigens gleichen Umſtänden ſo abnimmt, wie der Sinus des Winkels wächſt, unter welchem das Licht einfällt. Hat man es endlich nicht mit einem leuchtenden Puncte,

ſondern mit einem leuchtenden Körper zu thun, ſo richtet ſich die einer Fläche dadurch zu Theil gewordene Erleuchtung auch noch nach der Menge der der zu beleuchtenden Fläche zugekehrten leuchtenden Puncte, mithin nach der Größe der leuchtenden Fläche, und muß für jeden Punct eigens berechnet werden; denn es haben nicht alle Strahlen einerlei Intenſität, ſondern die ſchief ausfahrenden ſind in dem Verhältniſſe weniger intenſiv, als der Sinus des Ausſtrahlungswinkels größer iſt. Demnach ſteht die Erleuchtung einer Fläche im geraden Verhältniſſe mit dem Glanze und der Größe der leuchtenden Fläche, im verkehrten mit dem Sinus des Ausſtrahlungs- und Einfallswinkels und mit dem Quadrate der Entfernung der Lichtquelle von der genannten Fläche.

320. Das Licht, welches eine dunkle Fläche trifft, erleidet auf derſelben mehrere Modificationen. Ein Theil deſſelben wird nämlich reflectirt, ein anderer dringt in den Körper ein, und ſowohl der reflectirte, als der eingedrungene verhält ſich wieder auf verſchiedene Art. Man unterſcheidet bekanntlich beim zurückgeworfenen Lichte das regelmäßig reflectirte, welchen uns das Bild des leuchtenden Körpers zeigt, von dem zerſtreut zurückgeworfenen, wodurch der reflectirende Körper ſelbſt ſichtbar wird. Der Antheil an letzterem iſt deſto größer, je polirter der reflectirende Körper und je größer der Einfallswinkel des Lichtes iſt. Daher kommt es, daß manche Körper, die bei faſt ſenkrecht auffallendem Lichte keine Spur von Glanz zeigen, ſpiegeln, wenn man ſie ſchief anſieht, und daß ein Körper durch bloßes Glätten ſeiner Oberfläche zum Spiegel wird. Manche Körper reflectiren, wenn ihre Oberfläche rauh iſt, eine ſehr geringe Menge Licht, wie es nach Brewſter an einem Rauchtopaſe der Fall war, der an ſeinen Bruchflächen ganz ſchwarz erſchien, ungeachtet er an den natürlichen Flächen viel Licht reflectirte. Die Menge des reflectirten Lichtes ſteht, wie die Geſetze der Polariſation lehren, mit dem Brechungsexponenten der zwei an einander grenzenden Mittel in Zuſammenhang, nämlich des reflectirenden, und desjenigen, durch welches das Licht dahin gelangt. Das von einem Körper zerſtreut reflectirte Licht geht von jedem Puncte desſelben nach allen Richtungen aus und macht ihn ſichtbar, kann aber auch, wenn es von dieſem wieder zurückgeworfen wird, andere Körper wie jeder leuchtende erleuchten. Die Größe dieſer Erleuchtung wird von denſelben Geſetzen beherrſcht wie die von einem leuchtenden Körper herrührende.

Nach Bouguer wird von einem Lichtſtrahle, der ſenkrecht von der Luft auf Waſſer fällt, 0,018, von einem, der eben ſo von Luft auf Glas kommt, 0,025 reflectirt. Nach Herſchel reflectirt ein Metallſpiegel 0,673 des auffallenden Lichtes. Lambert fand, daß die Menge des von Glas reflectirten Lichtes bei den Einfallswinkeln (von der Trennungsfläche der Mittel an gerechnet) 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 45°, 50°, durch folgende Zahlen ausgedrückt werde: 0,483; 0,367; 0,279; 0,210; 0,165; 0,136; 0,115; 0,98. Schwarzer Marmor reflectirt bei 3° 35′, 15°, 30°, 80°, folgende Lichtmengen: 0,6; 0,156; 0,051; 0,023. Nach Potter nimmt das Reflexionsvermögen friſch polirter Spiegel mit der Zeit raſch ab. (Pogg. Ann. 22. 606.)

321. Auch das in einen Körper eingedrungene Licht verhält ſich auf mehrfache Weiſe: In denjenigen Körpern nämlich, welche wir undurchſichtige nennen, wird alles nicht reflectirte Licht verſchluckt (abſorbirt), in den durchſichtigen geſchieht dieſes nur mit einem Theile deſſelben, der andere geht durch den Körper hindurch, erleidet aber auf dem Wege ununterbrochene Zerſtreuungen, und der Reſt verläßt den Körper wieder nach einer den Brechungsgeſetzen entſprechenden Richtung. Kein Körper nimmt alles auf ihn fallende Licht auf; denn an der Grenze zweier Mittel muß jeder Strahl in zwei Theile getheilt werden, wovon einer reflectirt wird. Wollte man demnach nur ſolche Körper vollkommen durchſichtig nennen, die alles auffallende Licht aufnehmen und durchleiten, ſo wäre ein ſolcher Körper etwas Unmögliches. Wohl iſt aber ein Körper denkbar, der den einmal aufgenommenen Antheil des auf ihn gefallenen Lichtes ungeſchwächt bis zur andern Grenze fortleitet, und ein ſolcher heißt eigentlich **vollkommen durchſichtig**. Aber es ſcheint nicht einmal einen ſolchen Körper in der Natur zu geben; denn das Licht wird auf ſeinem Wege in jedem Körper durch Zerſtreuung geſchwächt, woran der Mangel an Continuität und Homogeneität der Maſſe ſchuld ſeyn mag. Dieſes zeigt z. B. folgender Verſuch: Man leite einen intenſiven Lichtſtrahl AB (Fig. 337) in ein verfinſtertes Zimmer, und laſſe ihn recht ſchief auf ein ziemlich langes und dickes, reines Glasprisma fallen. Da ſieht man den reflectirten Strahl deutlich im Innern des Glaſes den Weg BFCGDKEI nehmen, zugleich aber gebrochene Theile davon in C, D, E, F, G, K, I in die Luft austreten. Der Glaskörper ſelbſt erſcheint in allen Puncten des Innern ſichtbar, zum Beweiſe, daß auch faſt an jeder Stelle eine Zerſtreuung des Lichtes eintrete, und ſich der an den äußeren Grenzen bemerkbare Vorgang im Innern unzählige Male wiederhole. Eine natürliche Folge dieſes Verhaltens iſt, daß ſelbſt bei dem durchſichtigſten Mittel der reflectirte und der durchgelaſſene Strahl zuſammengenommen eine geringere Intenſität haben, als der einfallende, und daß der Unterſchied deſto größer ausfällt, je größer der Weg iſt, den das Licht im Innern eines Körpers zurücklegen muß. Der Unterſchied zwiſchen der Intenſität eines einfallenden Strahles und der Summe des reflectirten und durchgelaſſenen Antheiles deſſelben beſtimmt die durch den Körper **abſorbirte** (ausgelöſchte) Lichtmenge.

Denkt man ſich das betreffende Mittel in m gleich dicke Schichten getheilt, nennt die Intenſität des eindringenden Lichtes I, und ſtellt ſich vor, in jeder ſolcher Schichte werde der Theil μI deſſelben abſorbirt; ſo hat offenbar das Licht in der erſten Schichte die Intenſität $I(1-\mu)$, in der zweiten die Intenſität $I(1-\mu)^2$ und in der letzten (m^{ten}) die Intenſität $I(1-\mu)^m$. Es nimmt demnach die Lichtſtärke in einem geometriſchen Verhältniſſe ab, wenn die Dicke des Mittels in arithmetiſchem zunimmt. Der Werth von μ hängt von der Natur des Mittels, beſonders von deſſen Dichte, von der Brechbarkeit des Lichtes und von der Temperatur ab. Die Größe $1-\mu$ gibt das Maß der **ſpecifiſchen Durchſichtigkeit** der Körper an.

Nach **Lambert** wird von einer grünlichen Glasplatte, bei einem Einfallswinkel von 41°, $^3/_{17}$ des einfallenden Lichtes abſorbirt. Seewaſſer

abſorbirt bei einer Dicke von 679 Fuß alles Licht, und ſelbſt die Luft würde bei einer Höhe von 518385 Toiſen alles Sonnenlicht abſorbiren. Dieſelbe läßt nach Lambert beim ſenkrechten Einfallen 0,5889 durch. Ein Stück gemeinen Fenſterglaſes läßt die Hälfte, 16 ſolche Stücke, die zuſammen $9\frac{1}{2}$ L. dick ſind, laſſen $\frac{1}{247}$ und 76—80 ſolche Stücke gar nichts vom Sonnenlichte durch. Setzt man μ für Luft = 1, ſo iſt ſein Werth für Meerwaſſer 5,651, oder Meerwaſſer verſchluckt 5,651mal mehr Licht als Luft. Berückſichtigt man, daß das Meerwaſſer über 1000mal dichter als Luft iſt, ſo ſieht man, daß ſeine abſolute Durchſichtigkeit faſt 5000mal kleiner ſey als jene der Luft. Aus dem Geſagten erkennt man auch den großen Einfluß der Homogeneität der Maſſe auf ihre Durchſichtigkeit, und kann ſich viele Erſcheinungen erklären, z. B. warum Papier durchſichtiger wird, wenn man die in ſeinen Poren enthaltene Luft durch Oehl erſetzt (es öhlet), warum die Luft deſto durchſichtiger iſt, je mehr Waſſerdünſte ſie enthält, warum alle Gaſe Durchſichtigkeit beſitzen, der Hydrophan an Durchſichtigkeit dem Glaſe gleich kommt, wenn man die Luft in ſeinen Zwiſchenräumen durch Waſſer erſetzt; ein nicht polirtes Glasſtück völlig durchſichtig erſcheint, wenn man es mit Waſſer oder noch beſſer mit Terpentinöhl benetzt, deſſen Brechungsvermögen dem des Glaſes nahe gleich kommt. Man kann dieſen Umſtand ſogar zur Beſtimmung des Brechungsvermögens eines Körpers, der zur unmittelbaren Erörterung dieſer Größe entweder zu klein iſt oder zu wenig durchſichtig erſcheint, anwenden, indem man nur eine Flüſſigkeit auszumitteln braucht, in welcher derſelbe völlig durchſichtig erſcheint, das Brechungsvermögen dieſer Flüſſigkeit iſt dann zugleich das des betreffenden Körpers. Durch dieſes Mittel erkennt man auch leicht die kleinſten, die Durchſichtigkeit ſtörenden Fehler im Innern ungeſchliffener Edelſteine. Zwei Glasplatten ſind durchſichtiger, wenn ſich Waſſer, als wenn ſich Luft zwiſchen ihnen befindet, am durchſichtigſten aber, wenn man ſie mit einem aus Guajacharz und Canadabalſam beſtehenden Firniß zuſammenkittet. Glas verliert ſeine Durchſichtigkeit durch Zerſtoßen (Mengen der Glastheile mit Luft).

322. Die abſorbirenden Mittel wirken in der Regel nicht auf alle farbigen Strahlen mit gleicher Stärke, ſondern afficiren gewiſſe Strahlen mehr als andere. Die Folge davon iſt, daß das von einem ſolchen Mittel reflectirte oder durchgelaſſene Licht nicht bloß in ſeiner Intenſität, ſondern auch in ſeiner Farbe verändert erſcheint, indem offenbar in dem nach der Abſorption übrig gebliebenen Lichte jene Farbe vorherrſchend ſeyn wird, welche im Verhältniß zu ihrer Intenſität in geringſtem Maße abſorbirt worden iſt. Ein Körper erſcheint uns auch in der That immer von der Farbe, welche dem von ihm reflectirten und durchgelaſſenen Lichte zukommt, d. h. grün, blau oder gelb, je nachdem in dem von ihm reflectirten oder durchgelaſſenen Lichte die grünen, blauen oder gelben Strahlen die Oberhand haben. Weiß heißt der, welcher alle Lichtſtrahlen nahe in demſelben Verhältniſſe abſorbirt, und dieſe ſeine Farbe geht nach Maßgabe der größeren Abſorption durch die mannigfaltigſten Abſtufungen der Helligkeit hindurch ins Graue und zuletzt, wenn faſt alles Licht vernichtet iſt, ins Schwarze über. So viele Miſchungsverhältniſſe der farbigen Lichtſtrahlen möglich ſind, eben ſo viele Farbentöne kann es geben.

323. Meiſtens reflectirt ein Körper andere Strahlen, als er in ſeine Maſſe aufnimmt, und häufig ſind dieſe beiderlei Farben Ergänzungsfarben. Iſt der Körper durchſichtig genug, um noch bei einer merklichen Dicke Licht durchzulaſſen, oder dünn genug, um transparent zu erſcheinen; ſo ſieht man ihn in der That in zweierlei Farben, je nachdem er reflectirtes oder durchgelaſſenes Licht ins Auge ſendet. So z. B. reflectirt Waſſer grünes Licht und nimmt rothes auf, eben ſo wirft ein ſehr dünnes Goldplättchen röthlichgelbes Licht zurück und läßt grünlichblaues durchgehen. Daß mancher Körper im reflectirten und im durchgelaſſenen Lichte von gleicher Farbe erſcheint, rührt nur davon her, daß er in beiden Fällen ein Gemenge von reflectirtem und gebrochenem Lichte ins Auge ſendet.

Nach den von Herſchel gemachten Erfahrungen werden verſchiedenfarbige Strahlen in demſelben Mittel immer nach dem Geſetze abſorbirt, daß die Menge des durchgehenden Lichtes in einem geometriſchen Verhältniſſe abnimmt, wenn die Dicke des Mittels im arithmetiſchen Verhältniſſe zunimmt, allein der Exponent $1 - \mu$ des geometriſchen Verhältniſſes (321) hat für jede Strahlengattung einen andern Werth. Ein Körper wird diejenigen Strahlen durchlaſſen, für welche der Werth von μ am kleinſten iſt, und die übrigen abſorbiren oder reflectiren. Kann man ihn ſo dünn ausarbeiten, als es der Werth von μ für andere Strahlen verlangt, ſo wird er anders gefärbt erſcheinen. Von der Art iſt z. B. Saftgrün, das in einer dünnen Schichte ſmaragdgrün, in einer dicken hingegen blutroth ausſieht. Man darf aber hiebei nicht vergeſſen, daß Strahlen, deren Intenſität unter eine gewiſſe Größe herabſinkt, keinen Eindruck mehr in unſerem Auge hervorbringen.

Geſetzt, es ſey der Werth von μ bei einem Körper von der Art, daß $1 - \mu$ für das äußerſte Roth $= 0{,}9$. für gewöhnliches Roth, für Orange und Gelb $= 0{,}1$, für Blau, Dunkelblau und Violet $= 0{,}1$ beträgt, und daß in 10,000 weißen Strahlen deren 200 vom äußerſten Roth, 1300 rothe und orange, 3000 gelbe, 2800 grüne, 1200 lichtblaue, 1000 dunkelblaue und 500 violette vorkommen; ſo bleiben von dieſen noch übrig:

	nach der erſten,	zweiten,	dritten,	vierten Schichte = 1
Aeußerſte Rothe . .	180	162	146	131
Rothe und Orange .	130	13	1	0
Gelbe	300	30	3	0
Grüne	1400	700	350	175
Blaue	120	12	1	0
Dunkelblaue . . .	100	10	1	0
Violette	50	5	0	0

und dieſer Körper erſcheint demnach in der Dicke = 1 grün, in der Dicke = 2 weniger grün, in der 3ten miſcht ſich Roth dazu, und nach der 4ten bleibt nur ein dunkles Rothgrün übrig. Aus der verſchiedenen Miſchung der einzelnen Farben erklärt man ſich leicht die ungeheure Mannigfaltigkeit der Färbung, und begreift, wie ſchon die Römer bloß bei ihren Moſaikarbeiten 30,000 verſchiedene Farben haben konnten.

324. In welchem Verhältniſſe ein Mittel die verſchiedenfarbigen Theile eines weißen Lichtſtrahles abſorbirt, erfährt man am leichteſten, wenn man dieſes Mittel mit parallelen Wänden begrenzt, weißes Licht durchleitet, daraus mittelſt eines reinen nicht abſorbirenden Prisma's

ein Farbenbild erzeugt und dieſes mit jenem Farbenbilde vergleicht, welches man von weißem Lichte erhält, das nicht durch jenes abſorbirende Mittel gegangen iſt. Da werden natürlich jene Stellen des erſteren Spectrums, deren Licht in größerem Maße abſorbirt worden iſt, minder hell erſcheinen, als die entſprechenden des zweiten Spectrums, ja wenn einiges Licht ganz vernichtet worden, ſo wird man an den entſprechenden Stellen des Spectrums dunkle Räume oder Linien bemerken. So z. B. gibt Licht, welches durch kobaltblaues Glas gegangen iſt, ein Spectrum, in welchem das Orange nach Maßgabe der Färbung des Glaſes ganz oder zum Theil ausgelöſcht, das Roth aber ſehr geſchwächt iſt. Höchſt merkwürdig ſind in dieſer Beziehung die Erſcheinungen, welche ein Farbenbild gewährt, deſſen Licht vorläufig durch eine hinreichend dicke Schichte von ſalpetrigſaurem Gas, von Jod- oder Bromdampf gegangen iſt. Zwiſchen dem mit Kerzenlicht, nachdem es durch ſalpetrigſaures Gas gegangen iſt, erhaltenen Spectrum und jenem des directen Sonnenſpectrums fand Brewſter eine ſehr große Uebereinſtimmung, indem ſich in beiden die dunklen Linien auf ähnliche Weiſe angeordnet zeigen. Licht, das durch Jod- oder Bromdampf gegangen iſt, gibt ein Spectrum mit vielen faſt gleich weit von einander abſtehenden dunklen Linien. Chlorgas löſcht das Blau im Spectrum aus, ohne dunkle Linien zu erzeugen. Oxalſaures Chromoxydkali wirkt ſowohl im feſten Zuſtande, als in einer wäſſerigen Löſung höchſt merkwürdig auf das Sonnenſpectrum. Schon bei der kleinſten Dicke wirkt es ſchwächend auf die gelben Strahlen bei D (212). Bei zunehmender Dicke verſchwindet das Violet, das Gelb, das Orange das weniger brechbare Grün, bis das Spectrum nur mehr aus zwei abgeſonderten Theilen, einem rothen und einem grünlichblauen beſteht. Bei noch mehr zunehmender Dicke erliſcht das Grün an der blauen Seite und das Blau an der violetten Seite, und zuletzt bleibt nur mehr Roth zurück. Merkwürdig iſt überdieß in dem Spectrum des durch dieſen Körper gegangenen Lichtes das Auftreten einer ſcharf begrenzten Linie im Roth, zwiſchen den Fraunhofer'ſchen Linien A und B, die ihrer leichten Erkennbarkeit wegen zur Beſtimmung des Brechungsvermögens durchſichtiger Körper in Bezug auf rothes Licht beſonders geeignet iſt. Es iſt nicht unwahrſcheinlich, daß die Fraunhofer'ſchen Linien im Sonnenſpectrum von der gewiſſe Strahlen abſorbirenden Kraft der Atmoſphäre herrühren. Es würde daraus begreiflich, wie Brewſter in Edinburg im Spectrum eine Anordnung der dunklen Linien finden konnte, die von der durch Fraunhofer in München, als bei einer geringeren geogr. Breite geſehenen ſo ſtark abwich. (Pogg. Ann. 28. 385; 32. 128; 33. 233; 37. 315; 38. 52. Herſchel *Treat. on Astron. p.* 212.)

325. Es iſt Jedermann bekannt, welches Licht man weiß nennt. Die Vorſtellung des Weißen läßt ſich ſo wenig als die einer andern Farbe durch eine Beſchreibung beibringen; dem Phyſiker iſt aber bekannt, daß weißes Licht aus allen farbigen, in einem gewiſſen Verhältniſſe gemiſchten Strahlen beſtehe. Ein Licht reflectirender Körper heißt auch weiß, wenn er die farbigen Strahlen in dem Verhältniſſe

reflectirt, wie ſie im weißen Lichte vorkommen, und ſeine **Weiße** heißt **abſolut**, wenn er alle auffallenden Strahlen im gehörigen Verhältniſſe zerſtreut zurückwirft. Dieſe abſolute Weiße wird als Einheit der Weiße überhaupt angenommen, wenn es auch keinen Körper gibt, dem ſie zukommt. Die Weiße eines Körpers, der nicht alle auffallenden Strahlen zu reflectiren vermag, bezeichnet man mit dem Bruche, der den reflectirten Theil des auffallenden Lichtes ausdrückt. So iſt die Weiße = $^1/_8$, wenn $^1/_8$ der auffallenden Strahlen zerſtreut werden. So wie man weißes Licht zum Maßſtabe der Weiße macht, eben ſo kann man das in demſelben enthaltene rothe Licht zum Maßſtabe der Röthe, das darin befindliche blaue zum Maßſtabe der Bläue ꝛc. machen, und die Röthe, Bläue ꝛc. eines Körpers durch jene Zahl ausdrücken, welche angibt, den wievielten Theil der im Weiß enthaltenen rothen oder blauen Strahlen ein Stoff zerſtreut zurückwirft. Die Beſtimmung dieſer Zahl geſchieht durch beſondere Verſuche.

So z. B. beſtimmt **Lambert** die Röthe von Siegellack dadurch, daß er eine Stange desſelben auf ein ſchwarzes, von der Sonne ſtark beſchienenes Papier legt, und neben dieſelbe einen Streifen weißes Papier. Während er das Siegellack mit einem Auge anſieht, hält er über das weiße Papier ein dreiſeitiges Glasprisma, richtet es auf dieſes Papier, und wendet es ſo lange, bis der durch dasſelbe erſcheinende rothe Streifen auf dem Papiere ſo intenſiv roth erſcheint, wie das Siegellack. Es iſt alſo hier die Röthe des Siegellacks der Weiße des Papieres gleich; wegen der unvollkommenen Durchſichtigkeit des Prisma's iſt aber letztere um ſo viel größer, als das Prisma Licht abſorbirt oder zerſtreut. Iſt nun die Weiße des Papiers aus andern Verſuchen bekannt, ſo iſt auch die Röthe des Siegellacks gefunden. Die ſogenannten farbigen Körper reflectiren nicht bloß das Licht von jener Farbe, unter der ſie erſcheinen, ſondern auch jedes andere, jedoch in einem viel geringeren Grade; man kann daher wohl von der Röthe oder Weiße ꝛc. eines grünen, gelben, blauen Körpers ſprechen, und ſie ſogar durch Verſuche, wie der vorhergehende war, beſtimmen.

Nach **Lambert's** Verſuchen iſt die Weiße eines Blattes ſehr weißen Papiers = 0,154, des Fließpapiers kaum = 0,0835, des Kremſerweißes = 0,4230; die Röthe des mit Mennig gefärbten Papiers = 0,293, die Röthe des mit Zinnober gefärbten = 0,336.

326. Theils zur ſtrengen Begründung der vorhergehenden photometriſchen Sätze, theils zur Beantwortung anderer hieher gehörigen intereſſanten Fragen, muß man die Intenſitäten ſowohl des directen, als des von Körpern auf was immer für eine Weiſe modificirten Lichtes meſſen können. In dieſer Beziehung treten aber ganz beſondere Schwierigkeiten ein. Wir kennen kein Licht, das die zu einem Maßſtabe für anzuſtellende Lichtmeſſungen nöthige Unveränderlichkeit beſitzt, und ſind daher gezwungen, jedesmal, wenn ſolche Unterſuchungen anzuſtellen ſind, irgend ein für die Dauer derſelben möglichſt gleichförmig fortdauerndes Licht als Einheit zum Grunde zu legen; ferner bleibt die Beſtimmung des Lichtgrades immer dem Auge anheim geſtellt, und man hat, wenn man davon die chemiſchen und erwärmenden Wirkungen des Lichtes ausnimmt, die wenigſtens vor der Hand

noch nicht zu einem Maßſtabe für das Licht geeignet ſind, keine Scale, an der ſich dieſer Grad abnehmen ließe. Das Auge iſt aber nicht im Stande, ein anderes Verhältniß zwiſchen der Stärke zweier leuchtenden Körper beſtimmt zu erkennen, als das der Gleichheit, darum man auch bei den photometriſchen Beſtimmungen die mit einander zu vergleichenden Lichtſtärken zur Gleichheit bringen, und nach den dazu nöthigen Maßregeln das Lichtverhältniß berechnen muß. Endlich gibt es ſo ungeheuer viele Grade der Färbung des Lichtes, daß zwei ganz gleichfärbige leuchtende oder beleuchtete Körper nicht gar häufig vorkommen, und doch begründet jede Farbenverſchiedenheit eine Art Ungleichartigkeit, die bei Dingen, deren eines durch das andere, oder die mit einem gemeinſchaftlichen Maße gemeſſen werden ſollen, ſchlechterdings nicht vorhanden ſeyn ſoll. Die Inſtrumente, welche zur Vergleichung verſchiedener Lichtſtärken dienen, heißen Photometer. Es gibt deren mehrere, darunter aber kein einziges, über deſſen Werth die Phyſiker einerlei Meinung wären. Alle beruhen darauf, daß man die Wirkungen der zu vergleichenden Lichtquellen entweder durch Veränderung ihrer Entfernung von der zu beleuchtenden Fläche (Rumford's, Bouguer's, Wollaſtons, Ritchie's Photometer) oder durch Abſorption in Mitteln von verſchiedener Dicke (Lampadius, Maiſtre's Photometer), oder durch eine Anzahl von Reflexionen (Quetelet's Photometer), oder durch Verwandlung ihrer Bilder in Lichtflächen (Steinheil's Photometer), oder durch ſchnell auf einander folgende Unterbrechungen ihrer Einwirkung auf das Auge (Talbot's Photometer) zur Gleichheit bringt, und hieraus dann die eigentlichen Lichtſtärken berechnet. (Zeitſch. 1. 72; 6. 466; Pogg. Ann. 29. 186, 490; 34, 644; 35, 457.)

Eines der einfachſten iſt das Rumford'ſche. Es beruht auf dem Grundſatze, daß der Schatten eines Körpers deſto dunkler erſcheint, je ſtärker ſeine Umgebung erleuchtet iſt, und beſteht im Weſentlichen aus einer vertical ſtehenden weißen Fläche, vor welcher in der Entfernung von einigen Zollen ein etwa ½ Zoll dicker cylindriſcher Stab ſteht. Will man den Glanz zweier leuchtenden Körper (für welche dieſes Inſtrument vorzüglich paßt) mit einander vergleichen, ſo ſtellt man ſie ſo hinter den Stab, daß derſelbe zwei Schatten auf die weiße Fläche wirft, und entfernt die eine oder die andere Lichtquelle ſo weit vom Stabe, bis beide Schatten gleich dunkel erſcheinen. In dieſem Falle verhalten ſich die Lichtſtärken wie die Quadrate der Diſtanzen der leuchtenden Körper von der Fläche. Nach Wollaſton wird das Licht der Sonne mit dem einer brennenden Kerze verglichen, indem man erſteres auf eine mit Queckſilber gefüllte Thermometerkugel fallen läßt, das durch Reflexion entſtandene Bild durch ein Fernrohr mit einem Auge, die Flamme der Kerze hingegen durch eine Convexlinſe mit dem andern Auge anſieht, endlich die Entfernungen dahin abändert, bis beide Bilder gleich hell erſcheinen, und dann aus dem Halbmeſſer der Kugel und den obwaltenden Entfernungen das Verhältniß der Lichtſtärke berechnet. Es iſt klar, daß man durch Vergleichung der Sonne und verſchiedener Sterne mit einem Kerzenlichte zur Kenntniß des Leuchtverhältniſſes jener Körper unter einander gelangen kann (Zeitſchr. 6. 466). Ritchie's Photometer beſteht aus einem Kaſten (Fig. 338), der beiderſeits offen und inwendig geſchwärzt iſt, und worin ſich zwei

glatte, gegen einander um 90°, gegen die obere Wand des Kaſtens um 45° geneigte ebene Papierflächen a und b befinden, denen gegenüber eine Oeffnung EG angebracht iſt. Beim Gebrauche ſtellt man die zwei zu vergleichenden Körper den zwei Papierflächen im Kaſten gegenüber, ſo daß letztere durch erſtere Licht erhalten, und ändert dieſe Entfernung ſo lange ab, bis beide Lichtquellen den zwei Papierflächen eine gleiche Beleuchtung zu Theil werden laſſen; in dieſem Falle muß ſich der Glanz der Lichtquellen nahe wie die Quadrate ihrer Entfernungen von den beleuchteten Flächen verhalten. Dieſes Inſtrument geſtattet eine große Präciſion, beſonders wenn man zur genauen Beſtimmung der gleichen Erleuchtung der zwei Papierflächen an der Oeffnung EG eine Convexlinſe anbringt, und durch ſie auf jene Flächen hinſieht (Zeitſchr. 1. 71). Lampadius mißt die Lichtſtärke der Körper durch die Anzahl von Hornſcheiben, die gerade hinreicht, um alles Licht eines ſolchen zu abſorbiren. Maiſtre bedient ſich hiezu eines aus einem weißen und einem blauen Glasprisma zuſammengeſetzten Parallelepipeds, das mit dem dünnſten Theile des weißen Prisma's vor das Objectiv eines Fernrohres gebracht, hierauf das blaue Prisma ſo lange verſchoben wird, bis das dadurch geſehene Bild des helleren Körpers, dem des minder helleren mit freiem Auge angeſehenen gleich iſt. Quetelet's Photometer beſteht aus einer ebenen Glasplatte mit vollkommen parallelen Wänden, die mit rechtwinkligen Dreiecken von Zinnfolie belegt ſind, welche eine ſolche Anordnung haben, daß ſie die Platte in Planſpiegel verwandeln, deren einer das einfallende Licht dem andern durch Reflexion zuſendet, bis es gänzlich verſchwindet. Steinheil's Photometer hat die ſpecielle Beſtimmung, die relativen Helligkeiten der Geſtirne zu meſſen, und beruht auf zweckmäßigem Gebrauche eines dazu beſonders vorgerichteten Fernrohres. Talbot's Photometer gründet ſich darauf, daß die Helligkeit eines leuchtenden Gegenſtandes, den man durch eine mit gleichen und gleichgeſtellten ſectorenförmigen Löchern verſehene ſchnell rotirende Scheibe betrachtet, in dem Verhältniß des (auf einem beſtimmten mit der Scheibe concentriſchen Kreiſe gemeſſenen) Abſtandes zweier benachbarten Oeffnungen zur Breite einer Oeffnung, verringert wird. Auch die Eigenſchaften des polariſirten Lichtes laſſen ſich zu photometriſchen Zwecken benützen.

Nach Wollaſton ſcheint das Sonnenlicht ſo ſtark wie jenes, das 5563 Kerzenflammen von 1 Fuß Entfernung ins Auge ſenden. Das Licht des Sirius iſt 20,000 Millionenmal ſchwächer als das Sonnenlicht, und neunmal ſtärker als jenes der Vega. Das Mondlicht hat $^1/_{144}$ der Stärke des Kerzenlichtes in 12 Fuß Entfernung oder $^1/_{801072}$ des Sonnenlichtes. Lambert gibt die mittlere Helligkeit des Mondes bei ſeinen verſchiedenen Phaſen folgender Maßen an:

Elongation	Helligkeit	Elongation	Helligkeit	Elongation	Helligkeit
0°	0,0000	70	0,3366	130	0,5747
10	0,0494	80	0,3814	140	0,6043
20	0,0986	90	0,4244	150	0,6294
30	0,1475	100	0,4657	160	0,6490
40	0,1959	110	0,5048	170	0,6619
50	0,2437	120	0,5413	180	0,6666
60	0,2907				

Die Einheit dieſer Zahlenangaben iſt die Helligkeit des Vollmondes an der von den Sonnenſtrahlen ſenkrecht getroffenen Stelle. Die mitt-

lere Helligkeit der Planeten in der Oppoſition wird von Lambert folgender Maßen angegeben:

Merkur	6,6735	Mars	0,4307
Venus	1,9113	Jupiter	0,0370
Erde	1,0000	Saturn	0,0110

327. Will man mit einem Photometer die Lichtmenge beſtimmen, die ein durchſichtiger Körper reflectirt oder abſorbirt, ſo darf man nur die verhältnißmäßige Stärke zweier ziemlich conſtanten Lichtquellen, z. B. zweier Wachskerzen, auszumitteln ſuchen, wenn ſie ihr Licht unmittelbar auf den photometriſchen Apparat ſenden, und dann, wenn die Strahlen des einen vorläufig durch den zu prüfenden Körper gehen. Um wie vielmal das durch dieſen Körper gegangene Licht nun ſchwächer erſcheint als vorhin, ſo viel kommt auf Rechnung der Abſorption und Reflexion dieſes Körpers. Wäre z. B. die Flamme einer Kerze dreimal ſtärker befunden worden, als die einer andern, aber nur $^1/_2$mal ſtärker als dieſelbe, wenn ihr Licht durch eine Glasplatte gegangen iſt; ſo beträgt die Menge der von der Glasplatte reflectirten und abſorbirten Strahlen $^1/_6$ der auffallenden. Auf ähnliche Weiſe kann man auch die von einem Körper reflectirte Lichtmenge durch ein Photometer beſtimmen. Das Hauptwerk über Photometrie iſt: *Lamberti Photometria. Aug. Vind.* 1760. Ferner *Bouguer sur la gradation de la lumière.* Paris 1760.

Neuntes Kapitel.

Das Auge und das Sehen.

328. Durch den Sinn des Geſichtes gelangen wir zur Vorſtellung der Größe, Entfernung, Geſtalt, Lage, Bewegung und Farbe eines Körpers. Das Organ dieſes Sinnes iſt das Auge. Der für den Phyſiker wichtigſte Theil des Auges iſt der Augapfel. Dieſer befindet ſich in einer Höhlung im Kopfe, in welcher er durch Muskeln nach verſchiedenen Seiten bewegt werden kann, und iſt durch die Augenlieder und Augenwimpern vor äußeren zu ſtarken Einwirkungen und vor Unreinigkeit geſchützt. Der Augapfel (Fig. 339) hat nahe die Geſtalt einer Kugel, und beſteht im Weſentlichen aus Häuten und ſogenannten Feuchtigkeiten. Die äußerſte, dicke, feſte, weiße, elaſtiſche Haut a heißt die harte Haut (tunica sclerotica); ihr vorderer durchſichtiger, mehr converer Theil b Hornhaut (cornea). Unter der harten Haut liegt die Aderhaut (tunica choroidea). Dieſe beſteht meiſtens aus kleinen Gefäßen, liegt hinten an die harte Haut an, trennt ſich aber vorne, wo die Hornhaut anfängt, von derſelben, und geht in die Regenbogenhaut (iris) über. Dieſe hat in der Mitte eine Oeffnung, das Lichtloch c (pupilla), welche ſich erweitern und zuſammenziehen kann. Endlich befindet ſich innerhalb der Aderhaut die Netzhaut (retina),

welche eine Ausbreitung des Sehnerves d iſt. Das Innere des Augapfels iſt durch die Regenbogenhaut in zwei Kammern getheilt, welche durch die Pupille mit einander in Communication ſtehen. In dieſen Kammern befinden ſich die Feuchtigkeiten. Die innere Kammer zwiſchen der Netzhaut und der Regenbogenhaut enthält die Glasfeuchtigkeit, eine äußerſt durchſichtige, gallertartige Subſtanz. In einer Vertiefung derſelben gegen vorne liegt die zwar beiderſeits, aber ungleich convexe, nach Krauſe's vielen und ſorgfältigen Meſſungen vorne elliptiſch, rückwärts paraboliſch gekrümmte Kryſtalllinſe e, die aus zarten Platten beſteht, welche inwendig einen dichteren Kern in ſich ſchließen; ihre convexe Seite iſt gegen die Netzhaut gekehrt. Sie befindet ſich in einer durchſichtigen Kapſel, welche nach Th Smith am Umfange mit einem Muskelbündel verſehen iſt. Zwiſchen der Linſe und der Hornhaut iſt endlich eine waſſerhelle, etwas ſalzige Flüſſigkeit, die ſogenannte wäſſerige Feuchtigkeit, enthalten Die Augen vieler Thiere, wie z. B. der meiſten Säugethiere, der Vögel, ſind denen des Menſchen ſehr ähnlich. Fiſche haben eine faſt kugelförmige Kryſtalllinſe, nur wenig Glasfeuchtigkeit und faſt keine Waſſerfeuchtigkeit. Inſecten haben zwei Arten von Augen, kleine einfache und große facettirte. Beide kommen in verſchiedener Anzahl vor. (Anatomiſche und phyſiologiſche Darſtellung des menſchlichen Auges von F. Müller. Wien, 1819. Ueber die Dimenſionen des Auges und ſeiner Theile ſ. Krauſe in Pogg. Ann. 39. 529.)

329. Kommt von einem leuchtenden Puncte Licht ins Auge, ſo dringt der auf die Pupille fallende Strahlenkegel in dasſelbe ein und wird durch Brechung in den verſchiedenen brechenden Mitteln des Auges zu einem Bilde vereinigt. Das Bild im Auge afficirt den Sehnerv und regt dadurch das Empfindungsvermögen an, in Folge deſſen das Sehen erfolgt. Wie dieſes vor ſich gehe, wäre eine für den Phyſiker fremdartige Unterſuchung, wenn ſie auch innerhalb der Grenzen des menſchlichen Wiſſens läge.

330. Damit dieſes Bild auf die gehörige Weiſe wahrgenommen werden könne, muß es deutlich, hinreichend hell ſeyn, gerade auf die Netzhaut fallen, eine hinreichende Größe haben und lange genug anhalten. Zur Erzielung der nöthigen Deutlichkeit iſt das Auge ſo eingerichtet, daß die Bilder von der ſphäriſchen Abweichung frei ſind. Zur Aufhebung dieſer Abweichung trägt vorzüglich die geringe Ausdehnung der Pupille, die Form der Kryſtalllinſe, die Lage der als Blendung dienenden Iris und endlich die Wölbung der Netzhaut bei; von der chromatiſchen Abweichung iſt das Bild im Auge nicht frei, und die brechenden und zerſtreuenden Kräfte der Kryſtall- und Glasfeuchtigkeit ſind von der Art, daß ſie eine chromatiſche Compenſation unmöglich machen; auch iſt der vollkommene Achromatismus des Auges nicht nothwendig, da man ohnehin nur die in der Axe oder nahe an ihr liegenden Objecte deutlich ſieht (Gilb. Ann. 56. 301). Um dem Bilde die nöthige Helligkeit zu verſchaffen, muß der ihm entſprechende Gegenſtand die gehörige

Lichtmenge ins Auge ſenden; bei zu ſtarkem Lichte zieht ſich die Pupille zuſammen, und läßt nur einen kleinen Lichtkegel ins Auge gelangen, bei zu ſchwachem erweitert ſie ſich, und nimmt einen größeren Lichtkegel auf, doch hat dieſes ſeine Grenzen, und man kann weder bei zu ſtarker, noch bei zu ſchwacher Beleuchtung hell ſehen, aber dieſe Grenzen liegen ſehr weit aus einander. Wenn das Licht von ſeinem Mittel nicht geſchwächt würde, ſo müßten leuchtende und beleuchtete Körper in jeder Entfernung gleich hell erſcheinen. Bei größerer Entfernung kommen zwar von jedem Puncte weniger Strahlen ins Auge, aber die Bilder der einzelnen phyſiſchen Puncte rücken einander in demſelben Maße näher, und das ganze Bild des Objectes wird in demſelben Verhältniſſe kleiner. Die Abnahme des Glanzes leuchtender Körper bei wachſender Entfernung rührt daher bloß von der abſorbirenden Kraft des Mittels her.

Man kann beim Lichte einer Wachskerze und bei dem vielmal ſtärkeren Sonnenlichte, ja ſogar bei dem viel ſchwächeren Lichte des Vollmondes leſen. Augen, die an ſparſames Licht gewöhnt ſind, ſehen ſelbſt dort noch hell genug, wo es für den im vollen Tageslichte Wandelnden dunkle Nacht iſt. Ein mechaniſcher Druck auf das Auge ſteigert deſſen Empfindlichkeit für das Licht, und ſcheint in vielen Fällen ſelbſt eine Lichtempfindung hervorzubringen, wie die von Purkinje und Quetelet beobachteten Farbenerſcheinungen zeigen, welche man wahrnimmt, wenn man ein oder beide geſchloſſene Augen drückt. Geſchieht letzteres nach entgegengeſetzten Richtungen, ſo ergeben ſich ziemlich complicirte Viſionen (Pogg. Ann. 31. 494) Eigenthümliche Erſcheinungen bemerkt man, wenn die Augen, nachdem ſie im Dunkeln waren, plötzlich von ſtarkem durch die Augenlider eindringenden Lichte getroffen werden. Sie wurden zuerſt von Miß M. Griffiths beſchrieben (Pogg. Ann. 3 477). Die von Peclet und nach ihm von Aimé unterſuchten zahlreichen ſchwarzen Striche, die man bei dem Hindurchſehen durch eine enge Spalte bemerkt (welche nicht mit den Beugungserſcheinungen, die eine ſolche Spalte veranlaßt, zu verwechſeln ſind), und ähnliche Phänomene rühren theils von ungleichförmiger Anhäufung der Feuchtigkeit auf der Oberfläche des Auges, theils von ſehr kleinen minder durchſichtigen Pünktchen im Innern des Auges her. (Pogg. Ann. 3. 479; 4. 577.)

331. Es iſt nicht zu bezweifeln, daß die Netzhaut allein der wahre Sitz der dem Sehen entſprechenden Nervenaffection ſey, doch beſchränkt ſich die Wirkung des Lichtes nicht auf die unmittelbar getroffene Stelle, ſondern erſtreckt ſich auch auf die nächſte Umgebung derſelben, etwa ſo, wie ein Druck auf ein geſpanntes Tuch rings um die gedrückte Stelle eine Einbiegung erzeugt (Pogg. Ann. 27. 490, 29. 339; Zeitſchr. n. F. 2. 236). Hierauf beruht das Phänomen der ſogenannten Irradiation, welches darin beſteht, daß ein ſchmaler heller Gegenſtand auf einem dunklen Grunde merklich breiter erſcheint. Es iſt klar, daß bei unveränderlicher Einrichtung des Auges nur von Gegenſtänden, die eine gewiſſe Entfernung vom Auge haben, das Bild auf die Netzhaut fallen kann. Da aber die Erfahrung lehrt, daß man Gegenſtände von verſchiedener Entfernung deutlich ſieht; ſo muß in der Einrichtung des Auges etwas veränderlich ſeyn. Ob dieſes die Lage oder Geſtalt der

Linſe oder der Netzhaut ſey, iſt nicht entſchieden; wahrſcheinlich iſt es aber, daß die Linſe durch Zuſammenziehen der an der Kapſel angehefteten Muskel converer gemacht, und der Entfernung der Gegenſtände angepaßt werden kann. Man empfindet es auch, es ändere ſich im Auge etwas, wenn man es von einem nahen Objecte auf ein ferneres richtet (Brewſter in Pogg. Ann. 2. 271). Ein Theil dieſer Veränderung hängt von unſerem Willen, ein anderer aber nur vom Lichteindrucke ab. Doch hat dieſe Richtkraft des Auges ihre Grenzen, und das Auge vermag im geſunden Zuſtande nicht das Bild eines Gegenſtandes, der ihm näher ſteht als 8—10 Zoll, auf die Netzhaut zu bringen. Darum ſieht man auch nur jene Gegenſtände, die außerhalb dieſer Grenze liegen, mit gehöriger Deutlichkeit. An dieſer Grenze ſelbſt iſt das Bild deutlich, und zeigt ſich am hellſten und größten, darum heißt die Entfernung von 8—10 Z. die Entfernung des deutlichen Sehens (Sehweite). Man ſieht demnach in jeder Entfernung, die nicht kleiner iſt als 8—10 Z., Objecte deutlich, und nimmt darum nicht ſelten an, daß zum deutlichen Sehen parallele Strahlen erfordert werden, wiewohl dieſe Annahme nicht ganz richtig iſt, aber ſie gewährt in der Rechnung manche Vortheile. Bei einigen Menſchen iſt die Entfernung des deutlichen Sehens bedeutend kleiner, bei andern viel größer als die vorhin angegebene. Erſtere heißen kurzſichtige, letztere weitſichtige: jener Fehler läßt ſich durch den Gebrauch von Hohllinſen, dieſer durch den Gebrauch von Converlinſen verbeſſern, weil jene ein Bild geben, das minder vom Auge entfernt iſt, als der Gegenſtand; dieſe hingegen eines, deſſen Entfernung die des Gegenſtandes übertrifft. Unter Waſſer iſt jedes Menſchenauge ſehr weitſichtig, und kann nur mittelſt einer ſehr converen Linſe deutlich ſehen. Ohne dieſe vernimmt es von einem Gegenſtande nur einen Lichtſchein, aber kein Bild. (Muncke in Pogg. Ann. 2. 257.)

Nur die vorhandene Kurzſichtigkeit und Weitſichtigkeit deutet an, daß man Brillen brauchen ſoll, nicht etwa der Umſtand, daß man mit Brillen heller ſieht, als ohne ſie. Daher werden auch für ein Auge nicht jene Brillen paſſen, mit denen es am ſchärfſten ſieht, ſondern die ſchwächſten von allen denen, mit welchen es in der Sehweite deutlich ſieht. Jede Brille ſoll genau ſphäriſche Krümmungen haben, darum haben auch nicht Brillen von jedem Künſtler gleichen Werth. Oft muß die Brille für ein Auge ſtärker ſeyn, als für das andere; manches Auge braucht gar cylindriſche Brillen (Zeitſchr. 3. 452). Gewöhnliche Brillen aus farbigem Glaſe ſind an den dickeren Stellen dunkler als an den dünneren; iſochromatiſche Brillen (aus weißem Glaſe mit daran gekitteten blauen, allenthalben gleich dicken Schalen) ſind ſehr zu empfehlen. Periſcopiſche Brillen (aus Menisken) haben zwar den Vortheil, daß man durch ſie auch die ſeitwärts gelegenen Objecte noch deutlich ſieht, ſpiegeln aber zu ſehr. Jede Brille ſoll möglichſt nahe am Auge ſeyn; darum die Sattelbrillen nichts taugen. Beim Auswählen einer Brille ſoll man ſtets mit ſchwächeren anfangen und zu den ſtärkeren aufſteigen, nicht aber umgekehrt, und man darf nicht vergeſſen, daß ſich das Auge ſchnell nach der gebrauchten Brille richte, und das Urtheil über die Zweckmäßigkeit einer ſolchen beirre. Wer daher nicht nach der zweiten Wahl die richtige Brille gefunden hat,

fahre nicht fort, noch weitere Auswahl zu treffen, ſondern gönne dem Auge einige Ruhe. Betrachtet man eine in ein undurchſichtiges Plättchen gebohrte kleine Oeffnung oder eingeſchnittene ſchmale Spalte durch zwei in einer andern dicht vor das Auge gehaltenen Platte angebrachte, einander ſehr nahe Oeffnungen oder Spalten, ſo erſcheint erſtere einfach oder doppelt, je nachdem ſie ſich in der Sehweite des Auges befindet oder nicht. Im letzteren Falle vereinigen ſich nämlich die von ihr ausgehenden, durch beide Oeffnungen in das Auge eindringenden Lichtbündel nicht auf der Netzhaut zu Einem Bilde, ſondern dieſe wird an zwei getrennten Stellen afficirt. Hierauf gründen ſich eigene Inſtrumente (Brillenmeſſer, Optometer), welche ſchnell die Brennweite der dem Auge angemeſſenen Brille angeben. (Stampfer in Jahrb. des k. k. polyt. Inſt. B. 17; Adams Anweiſung zur Erhaltung des Geſichtes ꝛc., a. d. Engl. Gotha, 1794.)

332. Wenn das Bild auf der Netzhaut noch deutlich wahrgenommen werden ſoll, ſo muß es eine gewiſſe Größe haben, die von der Beſchaffenheit des Auges und von der Beleuchtung des Gegenſtandes abhängt. Für ein gewöhnliches Auge muß das Bild eines mäßig erleuchteten Objectes $^1/_{1000}$ Z. lang oder breit ſeyn, mithin unter $^1/_2$ Min. erſcheinen; einen glänzenden Silberdraht ſieht man aber noch unter einem Winkel von 2 Sec., und ſelbſtleuchtende Gegenſtände noch, wenn dieſer Winkel nicht mehr meßbar iſt, doch bleibt zuletzt von ihnen nur mehr ein Lichtſchein übrig. Plateau ſah Weiß im Sonnenlichte bei 12″, Gelb bei 13″, Roth bei 23″, Blau bei 26″, im Schatten war jeder Winkel etwa um $^1/_3$ größer. Jeder Lichteindruck braucht ſowohl zu ſeiner vollkommenen Entwicklung, als zum völligen Verſchwinden eine gewiſſe Zeit. Dieſe richtet ſich, Plateau's Verſuchen zu Folge, bei übrigens gleichen Umſtänden nach der Farbe. Den dauerndſten und ſtärkſten Eindruck hinterläßt Weiß, dann folgen in der Ordnung: Gelb, Roth, Blau. Die mittlere Dauer aller Farben, vom Momente der größten Stärke an, bis zum völligen Verſchwinden beträgt 0″,34. Folgen Eindrücke ſehr ſchnell auf einander, ſo fließen deren mehrere in einen zuſammen, und das Auge erhält von allen nur einen einzigen, continuirlichen Eindruck, es verſchwinden die zwiſchen den einzelnen Affectionen liegenden Pauſen, und das Auge erhält eine Reihe zuſammenhängender Eindrücke. Geht der Eindruck zu ſchnell vorüber, ſo nimmt man nichts davon wahr. Darum ſieht man eine abgeſchoſſene Flintenkugel nicht in ihrem Fluge. Nach Schmidt verſchwinden die Umriſſe eines $28^1/_2$ Z. vom Auge entfernten Körpers, wenn er in einer Secunde einen Bogen von 198° 51′ und der Gegenſtand ſelbſt, wenn er 265° 8′ zurücklegt. Das Deutlichſehen außer der Augenaxe liegender Puncte wird durch die große Beweglichkeit des Augapfels, vermöge welcher mehrere Puncte ſchnell hinter einander in dieſe Axe gebracht werden, und durch die den Eindruck überdauernde Wirkung des Lichtes möglich.

333. Von der Größe des Bildes im Auge hängt die ſcheinbare Größe der auf einmal überſehenen Gegenſtände ab; es muß daher alles, was jene ändert, auch eine entſprechende Aenderung in dieſer hervorbringen. Nach den Ergebniſſen directer an Menſchen- und Thier-

augen angeſtellten Beobachtungen ſchneiden ſich die geraden Linien, welche verſchiedene Puncte, die zugleich geſehen werden, mit ihren Bildern auf der Netzhaut verbinden, in einem und demſelben Puncte im Innern des Auges. Dieſen Punct kann man nach Volkmann den Kreuzungspunct, jene geraden Linien aber Richtungslinien nennen. Iſt daher AB (Fig. 340) ein leuchtender Gegenſtand, DE ein Stück der Netzhaut, ba das Bild des Gegenſtandes auf ihr, ſo ſind die Geraden Aa, Bb die Richtungslinien für die Puncte A und B, und deren Durchſchnittspunct C iſt der Kreuzungspunct. Kennt man die Lage deſſelben im Auge, ſo geben die von den äußerſten Puncten A und B irgend eines Gegenſtandes durch ihn gehenden Strahlen die Größe des Bildes ba, welches im Auge entſteht. Da dieſe offenbar von der Größe des Winkels ACB abhängt, ſo kann man letzteren mit Recht den Geſichtswinkel (angulus opticus) nennen, und als das Maß der ſcheinbaren Größe eines Gegenſtandes anſehen. Er wird aber ſelbſt durch die abſolute Größe des Gegenſtandes und durch ſeine Entfernung vom Auge beſtimmt, und iſt deſto größer, je größer jene, und je kleiner dieſe iſt. Die ſcheinbare Größe eines Gegenſtandes, den man nicht auf einmal überſieht, wird theils durch die Größe ſeiner auf einmal überſehenen Theile, theils durch den Weg beſtimmt, den das Auge durchlaufen muß, um alle ſeine Theile hinter einander zu überſehen.

Der Kreuzungspunct fällt nach Volkmann (Pogg. Ann. 37, 342; 45. 207) hinter die Kryſtalllinſe nahe in die Mitte des Augapfels; um ihn dreht ſich das Auge bei allen ſeinen Bewegungen, weßhalb er ihn auch den Drehpunct nennt. Zwei leuchtende Puncte, deren Richtungslinien in dieſelbe Gerade fallen, decken ſich. Nennt man Richtungsſtrahl eine durch zwei Puncte, welche dem Auge ſich zu decken ſcheinen, gezogene Gerade, ſo ſind die Richtungslinien und Richtungsſtrahlen derſelben identiſch, ſo daß beide Benennungen auch für einen Punct gemeinſchaftlich gebraucht werden dürfen. Der Richtungsſtrahl eines Punctes (wenn er ſich unter den in das Auge eindringenden Strahlen befindet) trifft dem gemäß, ungeachtet der Brechungen, welche er im Auge erleidet, zuletzt doch jene Stelle der Netzhaut, wohin er gekommen wäre, wenn er ungebrochen durch das Auge hätte gehen können. Gegen dieſe Behauptungen Volkmann's ſind jedoch von mehreren Seiten Einwendungen gemacht worden (Mile in Pogg. Ann. 42. 37 und 235; Knochenhauer ebend. 46. 248). Es ſcheint ſonach der Kreuzungspunct der Richtungslinien des Sehens entfernter von der Netzhaut als der Mittelpunct des Auges zu liegen, und vom Drehpuncte des Auges verſchieden zu ſeyn.

334. Das Bild der Gegenſtände erſcheint zwar im Auge, aber wir verſetzen es auf eine uns unbegreifliche Weiſe außer uns in eine Entfernung von uns, die nicht durch unmittelbare Empfindung gegeben iſt, weil ſie nicht von dem Wege abhängt, den ein Strahl gemacht hat, bevor er in das Auge kommt. Alles, was wir über Entfernung eines Gegenſtandes von uns wiſſen, iſt Folge eines Urtheils, das durch Empfindungen, die ſich mit der Entfernung der Gegenſtände vom Auge ändern, beſtimmt wird. Auf dieſe Empfindungen haben Einfluß:

1) Der Winkel, den die Augenaxen mit einander machen; d. h. die Linien, welche von einem leuchtenden Puncte aus durch die Mitte beider Augenöffnungen gehen. Wenn wir die Entfernungen eines Gegenſtandes beurtheilen wollen, richten wir beide Augenaxen (das Schielen ausgenommen) auf einen Punct deſſelben; je näher dieſer liegt, deſto größer iſt der Winkel der Augenaxen und deſto mehr Anſtrengung koſtet es die Muskeln, dieſe Richtung herzuſtellen. Es ſteht daher die Empfindung dieſer Anſtrengung mit der Entfernung des leuchtenden Punctes in Verbindung. Dieſes Beurtheilungsmittel fehlt dem ganz, der nur mit einem Auge auf einen Gegenſtand ſieht, darum irrt er ſich häufiger in ſeinem Urtheile, wie folgender Verſuch zeigt: Hängt man einen kleinen Ring an einem dünnen Faden frei auf, und ſtellt ſich ſo, daß man ſeine Oeffnung nicht ſieht, nimmt endlich einen Stab von ungefähr drei Fuß Länge zur Hand, der an einem Ende unter einem rechten Winkel gebogen iſt; ſo wird man mit dieſem Haken die Oeffnung des Ringes meiſtens verfehlen, wenn man bloß mit einem Auge darauf ſieht, während man den Ring leicht anfaßt, wenn man beide Augen zu Hilfe nimmt. 2) Die Stärke der Beleuchtung eines Objectes. Nimmt dieſe ab, ſo ſcheint ſeine Entfernung von uns zu wachſen. 3) Die Menge der zwiſchen dem Auge und dem Gegenſtande liegenden Dinge. 4) Die ſcheinbare Größe. 5) Seine Lage gegen die Dinge von bekannter Entfernung. Je mehr ſolche Empfindungen auf unſer Urtheil über die Entfernung Einfluß haben, deſto richtiger wird es ausfallen. Bei nahen Gegenſtänden helfen faſt alle erwähnten Puncte zuſammen, und gewähren uns eine große Sicherheit des Urtheils; je größer die Entfernung wird, deſto mehr ſieht man ſich dieſer Hilfsmittel beraubt, bis endlich bei einer Entfernung, welche eine gewiſſe Grenze überſteigt, nichts übrig bleibt, auf das wir unſer Urtheil ſtützen könnten. — Anders verhält es ſich mit der ſcheinbaren Entfernung der auf einmal geſehenen Gegenſtände von einander. Dieſe wird bloß durch den Abſtand der Bilder dieſer Gegenſtände im Auge beſtimmt, und verhält ſich daher wie die ſcheinbare Größe deſſelben. Darum können wir die Entfernung ſolcher Objecte von einander, die in der Richtung der Augenaxen liegen, nicht beurtheilen. Bei der Betrachtung eines Gegenſtandes mit beiden auf gehörige Weiſe gegen ihn gekehrten Augen fallen die Bilder auf der Netzhaut eines jeden an Stellen, und nehmen Geſtalten an, welche von der Entfernung und Lage des Gegenſtandes gegen die Augen abhängen; eine durch den Gebrauch des Geſichtsorganes begründete Fertigkeit in der Beurtheilung ſeiner Ueberlieferungen leitet uns an, die durch beide Bilder hervorgerufenen Eindrücke auf Einen Gegenſtand zu beziehen, daher wir in der Regel die Gegenſtände mit beiden Augen nur einfach ſehen. Wenn man aber die Augen mittelſt der dieſelben bewegenden Muskeln verdreht, wie es beim willkürlichen Schielen der Fall iſt, oder ein Auge mit dem Finger ſeitwärts drückt, und dadurch bewirkt, daß die zwei Bilder in beiden Augen nicht mehr auf

die gehörigen Stellen der Netzhaut fallen, ſo ſieht man das Object doppelt. (Zeitſchr. 5. 117.)

335. Mit der ſcheinbaren Größe eines Dinges iſt uns zugleich der Umriß ſeiner uns zugekehrten Fläche, und mit der Entfernung jedes einzelnen Punctes derſelben auch zugleich die räumliche Beſchaffenheit dieſer Fläche gegeben, daher durch beides deſſen Geſtalt. Nicht ſelten iſt uns zur Beurtheilung der Geſtalt eines Körpers innerhalb ſeiner Umriſſe die Vertheilung des Lichtes auf ihm und die Lage ſeines Schattens behülflich. An einem convexen Körper iſt immer ein Punct leuchtender als die anderen (point brillant), und der Schatten eines ſolchen liegt der Lichtquelle gegenüber; bei einem concaven liegen die Lichtquelle und der Schatten auf derſelben Seite. Die Beſchaffenheit des Bildes auf der Netzhaut, welches gleichſam eine Projection des Gegenſtandes auf die hintere Wand des Auges darſtellt, und bei einem erhabenen Gegenſtande anders ſich geſtaltet als bei einem hohlen von ähnlicher Figur und Stellung, liefert an ſich ſchon einen Anhaltspunct zur Beurtheilung der Convexität und Concavität. Bei einem Gegenſtande, der in ſo großer Entfernung geſehen wird, daß die auf ihn gerichteten Augenaxen als parallel angeſehen werden können, iſt die perſpectiviſche Anſicht für jedes Auge dieſelbe, und man ſieht ihn demnach mit beiden Augen ſo, wie mit einem einzigen, auch wird da zwiſchen einer treuen perſpectiviſchen Zeichnung eines ſolchen und ihm ſelbſt kein Unterſchied Statt finden. Dieſe Gleichheit der Erſcheinung für beide Augen verſchwindet aber, ſobald der Gegenſtand den Augen ſo nahe ſteht, daß die Axen der auf ihn gerichteten Augen nicht mehr als parallel angeſehen werden können, und es deckt nun der Gegenſtand nicht bloß für jedes Auge einen anderen Theil des fernen Geſichtsfeldes, ſondern er bietet auch jedem Auge eine andere Anſicht dar. Das gleichzeitige Daſeyn zweier ſolcher verſchiedenen Bilder macht, daß man ein Object mit drei Dimenſionen wahrnimmt. Welche wichtigen Dienſte bei nahen Gegenſtänden in dieſer Hinſicht der Gebrauch beider Augen leiſtet, weiſet das von Wheatſtone erfundene Stereoſkop, mittelſt deſſen zwei verſchiedene perſpectiviſche Zeichnungen den Eindruck eines einzigen Körpers hervorbringen.

Das Stereoſkop beſteht aus einem an der Rückſeite offenen Kaſten ABCD (Fig. 341), an deſſen Vorderwand zwei Oeffnungen O, O′ für beide Augen angebracht ſind, hinter welchen zwei gegen einander rechtwinklig geneigte ebene Spiegel EF, EG aufgeſtellt ſind, ſo daß die Halbirungslinie des Winkels FEG die Wand AC in der Mitte zwiſchen O und O′ ſenkrecht ſchneidet, daher die Spiegelfläche EF mit AB und AC und eben ſo EG mit CD und AC einen Winkel von 45° bildet. Eine auf AB angebrachte Zeichnung wird mittelſt des Spiegels EF nur von dem Auge O, und eine Zeichnung auf CD mittelſt des Spiegels EG nur von dem Auge O′ wahrgenommen. Durch ſchickliche Stellung der Zeichnungen und der Spiegelkante E gegen AC, bringt man es leicht dahin, daß beide Bilder an derſelben Stelle H geſehen werden. Entſprechen die an AB und CD aufgeſtellten Zeichnungen den Anſichten eines bald mit dem einen bald mit dem anderen Auge betrachteten erhabenen oder hohlen Gegenſtandes, ſo wird der-

ſelbe durch das Zuſammenwirken beider Zeichnungen auf das täuſchendſte dargeſtellt. So ſieht man, wenn man M auf AB, m auf CD ſetzt, den kleineren Kreis mit dem größeren concentriſch, und erſteren vor oder hinter letzterem ſchwebend, je nachdem die Stellen Xx gegen AC gekehrt ſind oder die entgegengeſetzte Lage haben. Unter denſelben Umſtänden ſtellen die Zeichnungen N, n eine erhabene oder hohle Pyramide dar. (Pogg. Ann. 47. 625. Ergänzungsbd. 1. 1.)

336. Die Lage, welche die Bilder mehrerer Gegenſtände im Auge zu einander haben, gibt die ſcheinbare Lage dieſer Gegenſtände ſelbſt. Wiewohl das Bild gegen ſeinen Gegenſtand verkehrt erſcheint, ſo haben doch die zugleich geſehenen Bilder unter einander dieſelbe Lage, wie die ihnen entſprechenden Dinge außer dem Auge, und erſcheinen uns demnach auch in natürlicher Lage. Daß ſie aufrecht erſcheinen, hat den Grund in der Art, wie das Licht die Netzhaut afficirt. Worin die Natur des Lichtes auch immer beſtehen mag, ſo muß doch die Affection der Netzhaut durch einen Stoß erfolgen, der ſich in das Innere derſelben in unveränderter Richtung fortpflanzt. Der Stoß der Strahlen, die vom unterſten Puncte eines Objectes kommen, nimmt die Richtung durch dieſen Punct von unten nach oben; diejenigen Strahlen, welche vom oberſten Puncte ins Auge kommen, zielen von oben nach unten, und es iſt daher dem gewöhnlichen Gange unſerer Empfindung gemäß, das als unteres zu erkennen, das von unten aus; jenes als oberes, das von oben aus auf das Auge wirkt.

Hält man vor das Auge ein Kartenblatt mit einer kleinen Oeffnung, und zwiſchen die Oeffnung und das Auge eine Stecknadel, ſo erblickt man dieſelbe außerhalb des Blattes und aus dem angegebenen Grunde in verkehrter Lage, obgleich das Schattenbild der Nadel auf der Netzhaut eine aufrechte Lage hat.

337. Die Bewegung der Bilder im Auge liefert uns den Stoff zur Beurtheilung der Bewegung. Da aber die Bewegung des Bildes nicht bloß von der des Gegenſtandes abhängt, ſondern auch von der des Auges; ſo wird man die Frage, welcher Körper eigentlich der bewegte ſey, nicht durch den Sinnenſchein beantworten können. Die Bewegung ſelbſt iſt nur wahrnehmbar, wenn der in einer Secunde zurückgelegte Weg bemerkbar groß iſt. Nach Schmidt darf der in einer Secunde zurückgelegte Bogen in der deutlichen Sehweite nicht unter $2^1/_4$ Minute betragen.

338. Farbe iſt Gegenſtand der Empfindung und nur in ſo ferne vorhanden, als es ein empfindendes Subject gibt. Dieſelbe hängt daher ſtets nur zum Theil vom Gegenſtande ab, der das Licht ins Auge ſendet, zum Theil aber vom ſehenden Subjecte. (Manchen Perſonen mangelt die Fähigkeit, gewiſſe Farben, beſonders Farbenabſtufungen, zu unterſcheiden. Eine wiſſenſchaftliche Zuſammenſtellung merkwürdiger Fälle hievon gibt A. Seebeck in Pogg. Ann. 42. 177.) In ſo ferne gibt es alſo keine rein objective Farbe. Doch lehrt die Erfahrung, daß Gegenſtände in der Regel ſo lange von derſelben Farbe erſcheinen, als ſie Licht von derſelben Brechbarkeit ins Auge ſenden,

zum Beweiſe, daß dieſe Brechbarkeit die Farbe hauptſächlich beſtimme. Ferner weiß man, daß ein Körper, welcher Strahlen von allen Graden der Brechbarkeit in gehörigem Verhältniſſe ins Auge ſendet, weiß erſcheint, hingegen ſchwarz, wenn er von keiner Strahlengattung ſo viele dahin ſchickt, daß ein gehöriger Eindruck gemacht werden kann. Körper, die nicht alle Strahlengattungen, ſondern nur einige derſelben dem Auge zuſenden, erſcheinen von der Farbe, die aus ihrem Geſammteindrucke hervorgeht. Faſt alle Farben entſtehen auf dieſe Weiſe durch Zuſammenſetzung der Eindrücke mehrerer verſchiedenfarbigen Strahlen, weil faſt kein Körper nur eine einzige Strahlengattung ins Auge ſendet, ſondern immer mehrere derſelben dahin gelangen. Solche Zuſammenſetzungen verſchiedener Farbeneindrücke zu einer einzigen Farbe können Statt finden, wenn verſchiedenfarbige Strahlen auf einmal oder ſchnell hinter einander ins Auge treten; doch erzeugen ſie ſelbſt bei einerlei Beſchaffenheit der Strahlen nicht in beiden Fällen dieſelbe Farbe. Bemalt man mit einem gehörigen Gemenge von Berlinerblau und Gumigutte ein weißes Papier, ſo erſcheint dieſes ſchön grün. Theilt man nun eine Kreisſcheibe in zwei Sectoren, bemalt einen mit Gumigutte, den anderen mit Berlinerblau recht ſtark, und dreht dann die Scheibe, ſo erhält man eine andere Farbe, die ſelbſt wieder von der Schnelligkeit der Rotation, alſo von der Folge und der Entwicklung der auf einander folgenden Eindrücke abhängt. Dreht man nämlich nicht ſo ſchnell, daß ein gleichförmiger Farbenton hervorgeht, ſo erſcheint auf der Scheibe ein lebhaftes Weiß und Orange, wird aber ſo ſchnell gedreht, daß man die Scheibe gleichförmig gefärbt ſieht, ſo erſcheint dieſelbe vollkommen grau, und nur, wenn man das Blau ſehr blaß aufträgt, kann man einen Stich ins Grüne hervorbringen. Aehnliche Erſcheinungen erhält man mit anderen Pigmenten. (Pogg. Ann. 20. 328.) Zur Hervorbringung ſolcher Erſcheinungen iſt der von Buſolt angegebene Farbenkreiſel vorzüglich brauchbar. (Pogg. Ann. 32. 656.)

Farbe iſt von dem, was man Farbeſtoff nennt, weſentlich verſchieden, wiewohl man oft beide mit dem Worte Farbe bezeichnet. Erſtere iſt eine eigenthümliche Empfindung, letzterer ein Materiale, welches die dieſe Empfindung erregenden Strahlen dem Auge zuſendet. Einen Körper färben heißt demnach, ihn mit einem Stoffe überziehen oder ſeine chemiſche Natur dahin abändern, daß er beſtimmte Strahlen reflectirt.

339. Ob eine Farbe für ſich, oder nur im Vergleiche mit einer anderen, entweder vorliegenden oder im Gedächtniß behaltenen, beſtimmt werden kann (etwa ſo, wie man die Höhe eines Tones nur im Vergleiche mit einem anderen beurtheilen kann), darüber haben ſich die Phyſiker bis jetzt noch nicht beſtimmt ausgeſprochen; doch iſt letzteres das wahrſcheinlichere. In vielen Fällen tritt bei der Beſtimmung einer Farbe der ſubjective Einfluß des Sehenden gar ſehr hervor. Es muß nämlich jeder Lichteindruck eine, wenn auch unmerklich kurze Zeit dauern, um im Auge jene Stärke zu erlangen, deren er fähig iſt,

und dieſe Zeit iſt ſogar für verſchiedene Farben verſchieden. Wirken demnach mehrere farbige Strahlen gleichzeitig aber nur ſchnell vorübergehend auf das Auge, ſo wird jene Farbe das Uebergewicht erhalten und ſich mehr oder allein geltend machen, deren Eindruck in dieſer Zeit zur größeren Entwicklung gelangte. Ferner dauert der Lichteindruck, dem das Auge eine Weile ausgeſetzt war, noch fort, wenn auch die objective Einwirkung bereits aufgehört hat, und auch dieſes Ueberdauern des Eindruckes iſt für verſchiedene Farben verſchieden. Demnach muß, wenn gleichzeitig verſchiedenfarbiges Licht auf das Auge gewirkt hat, der Eindruck der einen Farbe nach jenem der andern verlöſchen, und demnach die entſprechende Farbe mit einem Uebergang in die complementäre ausklingen. Ein dauernder oder ſtarker Lichteindruck macht das Auge eine große Zeit lang für einen nachfolgenden derſelben Art unempfindlich. Ein ſo für eine beſtimmte Farbe unempfindlich gemachtes Auge empfindet demnach nur jene Einwirkung, die nach Hinweglaſſung jener Farbe übrig bleibt. Endlich empfindet das Auge von zwei gleichzeitigen ungleich ſtarken Einwirkungen nur die ſtärkere und dieſe dauert fort, wenn auch die Quelle der mit ihr contraſtirenden bereits unterdrückt iſt. Die von den angeführten Umſtänden abhängenden Farben heißen daher mit Recht ſubjective. Goethe nennt ſie phyſiologiſche, Andere heißen ſie zufällige Farben.

Als Beiſpiele dieſer zwei Erregungsarten ſubjectiver Farbenerſcheinungen mögen folgende dienen: Sieht man eine rothe Schrift auf weißem, von der Sonne wohl beleuchteten Papiere lange unverwandt an, und blickt dann auf eine minder beleuchtete weiße Fläche; ſo ſieht man dieſelbe Schrift in grünen Zügen. War die Schrift orange, ſo ſieht man ſie auf dem zweiten Papiere blau; war ſie gelb, ſo erſcheint ſie violett. Die vor den Augen ſchwebenden Farben, wenn man in die Sonne geſehen hat und dann die Augenlieder ſchließt u. d. m. gehören hierher. Hier wird das Auge für rothe Strahlen unempfindlich gemacht; kommen dann weiße in dasſelbe, ſo bleibt nur der Eindruck derjenigen übrig, die das Sonnenlicht nach Wegnahme der rothen enthält, nämlich der grünen. Daß dieſes die wahre Erklärung dieſer ſubjectiven Farben ſey, beweiſet der Umſtand, daß, wenn man den früher erwähnten Verſuch mit einem Auge anſtellt und das andere verſchloſſen hält, beim wechſelſeitigen Oeffnen des einen oder des andern die ſubjective Farbe nur in dem wahrgenommen wird, das den längeren Eindruck des Lichtes erlitten hat. Bemalt man den matt geſchliffenen gläſernen Schirm einer Lampe an mehreren Stellen mit verſchiedenen Farben, und vermindert dann die Flamme bis zum Auslöſchen, ſo ſieht man im Augenblicke vor dem gänzlichen Erlöſchen von jeder Farbe die complementäre (Splittgerber in Pogg. Ann. 49. 587). Man theile eine zum ſchnellen Rotiren um eine verticale Axe eingerichtete Pappſcheibe in mehrere, z. B. 18 concentriſche Ringe von gleicher Breite, bemale den innerſten Ring ganz ſchwarz, den nächſt folgenden bis auf 20°, den dritten bis auf 30°, die weiß bleiben, und ſo die folgenden, ſo daß der letzte Ring ganz weiß belaſſen wird. Wird nun dieſe Scheibe raſch gedreht, ſo ſieht man ſtatt der ungleichen Nüancen von Grau, die man glaubt erwarten zu dürfen, jeden Ring mit einer andern Farbe, die ſelbſt wieder wechſelt, wenn ſich die Geſchwindigkeit der Rotation ändert. Hier tritt alſo die ungleiche Dauer des

Eindrucks verſchieden farbiger Strahlen des Weiß deutlich hervor. Bringt man an dem Fenſterladen eines verfinſterten Zimmers zwei geräumige Oeffnungen an, ſtellt dann vor ſie einen undurchſichtigen Körper, der von dem durch jede Oeffnung eintretenden Lichte einen Schatten werfen kann; ſo erhält man auf einer weißen Tafel natürlich zwei Schattenbilder, die grau ſind, weil der einem Lichte entſprechende Schatten in den beleuchteten Raum des anderen fällt. Stellt man aber vor die eine Oeffnung ein rothes Glas, ſo erſcheint der ihr zugehörige Schatten von der complementären Farbe des Glaſes, in unſerem Falle grün, während der von der anderen Oeffnung herrührende Schatten die rothe Farbe annimmt. Etwas ähnliches läßt ſich mit anderen gefärbten Gläſern bewirken. Die Erklärung fließt aus dem vorhin Geſagten ganz ungezwungen; denn iſt z. B. R (Fig. 342) die mit dem rothen Glaſe bedeckte Oeffnung, A die unbedeckte, weißes Licht gebende, C der undurchſichtige Körper, welcher den Schatten wirſt, r der Schattenraum, welcher durch R, und a derjenige, welcher durch A beleuchtet wird; ſo iſt klar, daß in den unbeſchatteten Raum b rothes und weißes Licht falle, und da das weiße ſelbſt wieder rothes enthält, ſo iſt das rothe das überwiegende, jedoch wird r mehr roth erſcheinen, weil es nur allein rothe Strahlen empfängt. Die rothen Strahlen, welche das in a befindliche weiße Licht enthält, können gar keine Empfindung erregen, und es bleibt nur diejenige Affection übrig, welche das weiße Licht nach Hinwegnahme des rothen Antheils bewirkt. Betrachtet man nachher den grünen Schatten durch ein alles andere Licht abhaltendes geſchwärztes Rohr, ſo erſcheint er fortdauernd grün, ohne daß der Contraſt mit dem rothen Lichte der Umgebung mitwirkt; allein daraus läßt ſich Nichts gegen obige Erklärung folgern, weil die Erſcheinung der grünen Farbe nicht Statt findet, wenn man das Rohr vor Anwendung des rothen Glaſes gegen den Schatten richtet, aber augenblicklich eintritt, wenn man das Rohr beſeitiget. Die früher iſolirte grüne Farbe dauert auch fort, wenn das rothe Glas weggenommen, ja ſogar wenn ein anderes gefärbtes Glas vor die Oeffnung geſetzt wird, aber nach Entfernung des Rohres ſieht man im Schatten augenblicklich die dem letzten Glaſe entſprechende Ergänzungsfarbe (Fechner in Pogg. Ann. 44, 221 u. 513). Die ſchönen blauen Schatten, welche ſich während der Dämmerung in einem durch Kerzenlicht erleuchteten Zimmer zeigen, und vornehmlich auf der gelblich röthlichen Färbung dieſes Lichtes beruhen, und viele andere, die man vorzüglich in Goethe's Farbenlehre angegeben findet, gehören hieher, und werden auf gleiche Weiſe erklärt. Dieſelbe Bewandtniß hat es mit den complementär gefärbten Bildern ſchmaler undurchſichtiger Gegenſtände in mit Spiegelfolie belegten Tafeln aus gefärbtem Glaſe. (Scherffer über zufällige Farben. Wien 1765. Zſchokke über gefärbte Schatten. Aarau, 1826. Goethe's Farbenlehre. Plateau in Zeitſchr. n. F. 3. 190 und in Pogg. Ann. 32, 543. Oſann in Pogg. Ann. 37, 287; 42, 72. Pohlmann ebend. 37, 319. Fechner in Pogg. Ann. 50. 193, 427.)

340. Aus dem Vorhergehenden iſt klar, daß das Auge von Objecten, die an Größe, Entfernung, Geſtalt verſchieden ſind, dieſelben Eindrücke bekommen kann, wie von ſolchen, die in dieſen Verhältniſſen mit einander übereinſtimmen und umgekehrt. Baut der Verſtand auf dieſe Eindrücke ohne weitere Unterſuchung ein Urtheil, ſo irrt er, und unterliegt einer optiſchen Täuſchung.

Es iſt nicht ſchwer, den Grund jeder einzelnen optiſchen Täuſchung aufzufinden. Zur Uebung im Erklären folgen hier einige. Täuſchungen in Bezug auf Größe und Entfernung: In einer aus parallelen Baumreihen beſtehenden Allee convergiren die entferuteren Reihen immer mehr; der Fußboden eines langen Saales ſcheint ſich an den ferneren Stellen zu erhöhen, die Decke aber ſich zu ſenken; eine Thurmſpitze neigt ſich gegen den Beobachter; durch eine kleine Oeffnung ſieht man viele und ſehr große Gegenſtände; ein Finger vor das Auge gehalten deckt ganze Gebäude, ſcheint alſo eben ſo groß als dieſe; eigens gezeichnete Bilder (optiſche Zerrbilder) ſcheinen verzerrt und in die Länge gezogen, wenn man ſie wie ein gewöhnliches Bild anſieht, hingegen recht wohl proportionirt, wenn man ſie ſchief durch ein kleines Loch betrachtet. Auf einem ebenen Papiere ſcheinen uns gezeichnete Gegenſtände eine ſehr verſchiedene Entfernung zu haben (Panorama). Weiße Gebäude hält man für näher, als ſie ſind. In großen Ebenen, über Waſſer, ſchätzt man Entfernungen für zu gering. Das Himmelsgewölbe (Firmament) ſcheint keine Halbkugel, ſondern bloß ein Kugelſegment zu ſeyn. Die Sonne, der Mond, die Sterne ſcheinen daran angeheftet, und erſtere Körper beim Auf- oder Untergehen weit größer, als wenn ſie einen hohen Stand haben. Ein Gleiches gilt von den Diſtanzen der Sterne oder von der ſcheinbaren Ausdehnung der Sternbilder. Täuſchungen in Bezug auf Geſtalt und Bewegung: Der Mond, die Sonne erſcheinen als Scheiben. Eine mit Kerzenlicht beleuchtete erhabene Fläche durch ein optiſches Inſtrument, das ein verkehrtes Bild gibt, angeſehen, erſcheint als Höhlung, und eine Höhlung unter denſelben Umſtänden als Erhabenheit. Eine weit entfernte Pyramide erſcheint als Kegel, ein Prisma als Cylinder. Die Sonne ſcheint auf- und unterzugehen; ſieht man von einer Brücke längere Zeit in fließendes Waſſer hinab, ſo ſcheint die Brücke ſtromaufwärts zu gehen; einem Schiffenden ſcheinen die am Ufer befindlichen Gegenſtände ſich zu bewegen. Schüttelt man den Kopf ſchnell, während man auf ein Object hinſieht, ſo ſieht man dieſes zittern. Eine glühende, ſchnell im Kreiſe bewegte Kohle erſcheint als glühender Reif. Zeichnet man auf eine Seite einer papierenen Scheibe einen Käfig, auf die andere einen Vogel, und dreht die Scheibe ſchnell um eine in ihrer Ebene liegende Axe, ſo glaubt man den Vogel im Käfig zu ſehen (Thaumatrop, *trompe d'oeil*). Sieht man durch die Zwiſchenräume eines Gitters auf die Speichen eines ſchnell vorbei rollenden Wagenrades, ſo ſieht man das Rad nicht ſich drehen, ſondern ſtatt deſſen unbewegliche Curven auf der Radfläche. (Zum Behufe der Erklärung dieſer Erſcheinung muß man ſich das Gitter im Fortſchreiten und das Rad bloß im Drehen, aber nicht zugleich im Fortſchreiten begriffen denken, und ſich anfangs nur eine Gitteröffnung und eine Speiche vorſtellen. Dieſe beiden Linien ſchneiden ſich bei ihrer Bewegung in einer Reihe von Puncten, welche die gedachte Curve geben. Sind dieſe beiden Bewegungen gleichförmig, ſo wiederholt ſich dieſelbe Erſcheinung, ſo oft Speiche und Oeffnung in dieſelbe Lage zurückkehren, und macht, daß dieſe Curve unbeweglich erſcheint.) Läßt man einen geſchwärzten Kreiſel vor einem Kerzenlichte oder im Sonnenſcheine auf weißem Papier ſpielen, ſo ſieht man an der Stelle, wo ſich die Scheibe des Kreiſels und ihre Schatten decken, feſtſtehende beſonders gekrümmte Linien. Setzt man zwei parallele Scheiben mit zahnartigen Ausſchnitten in Bewegung, und ſieht ſo auf ſie hin, daß man beide zugleich erblickt; ſo bemerkt man an der Stelle der Zähne einen gleichförmig erleuchteten Streifen, ſcheinen ſich

aber die Räder zu decken, ſo ſieht man die Zähne ruhig und wie in einem Nebelſchleier. Verſieht man, wie es bei den von Stampfer erfundenen ſtroboſkopiſchen Scheiben der Fall iſt, eine Pappſcheibe gegen ihren Umfang hin mit einer großen Anzahl rechteckiger Oeffnungen, und bemalt eine ihrer Flächen mit verſchiedenen Figuren, als Thier- und Menſchengeſtalten, Maſchinentheilen ꝛc., die eine zuſammenhängende Bewegung vorſtellen, und läßt dann die Scheibe vor einem Planſpiegel ſchnell kreiſen, während man durch deren Löcher in den Spiegel ſieht, ſo erblickt man darin jene Zeichnungen in der zuſammenhängenden Bewegung, welche ihre einzelnen von einander getrennten Theile vorſtellen, die bloß periodiſch (drehend oder oscillirend) oder auch progreſſiv iſt, je nachdem die in verſchiedenen Stellungen verzeichneten Figuren gegen die Löcher gleichgeſtellt ſind, oder deren Abſtände von den Löchern variiren. Auf ähnlichen Gründen beruht auch Plateau's Phantasmaſkop und Horner's Dädaleum. (Pogg. Ann. 5. 93; Zeitſchr. 10. 80; 22. 601; 32. 636 u. 650; *Annal. de Ch.* 53. 304.) Täuſchungen in Bezug auf Farbe: Eine Scheibe, die auf einer Seite zur Hälfte blau, zur Hälfte gelb bemalt iſt, erſcheint ganz grün, wenn man ſie ſchnell um eine auf ihrer Ebene ſenkrechte Axe dreht. Eben ſo erſcheint ſie orange, wenn man ſie halb gelb und halb roth malt. Sieht man auf einen weit entfernten Gegenſtand hin, hält ein Kerzenlicht nahe an ein Auge zur rechten oder linken Seite, und bringt dann einen Streifen weißes Papier vor dasſelbe, ſo erſcheint dieſer doppelt, und zwar wird ein Bild grün, das andere roth geſehen. Viele Täuſchungen beruhen auf einer krankhaften Körperbeſchaffenheit. So ſieht z. B. der Gelbſüchtige alles gelb. Daß es Menſchen gibt, denen die Fähigkeit mangelt, gewiſſe Farben zu unterſcheiden, wurde bereits oben (338) angeführt. Es ſoll ſogar Menſchen geben, die in Folge einer abnormen Beſchaffenheit der Augen alles verkehrt, und andere, die alles doppelt ſehen. (Zeitſchr. 2. 247; 4. 378; 6. 232.)

Zehntes Kapitel.

Optiſche Inſtrumente.

341. In ſo fern man die Lehre vom Lichte als objectiven Grund des Sehens im Allgemeinen mit der Benennung Optik bezeichnet, kann wohl jeder Apparat, welcher auf den optiſchen Eigenſchaften des Lichtes beruht, ein optiſches Inſtrument genannt werden. Indeſſen beſchränkt der Sprachgebrauch in der Regel letztere Benennung auf jene Vorrichtungen, mittelſt welcher ein Object, das dem freien Auge entweder wegen zu großer Entfernung, oder wegen zu geringer Ausdehnung unter einem für das deutliche Sehen zu kleinem Geſichtswinkel erſcheint, oder welches man gewiſſer Zwecke wegen in einer andern Lage zu ſehen wünſcht, größer und daher auch deutlicher, oder in der erforderlichen Lage dargeſtellt werden kann. Zur Betrachtung naher, aber kleiner Gegenſtände dienen die Mikroſkope; für ferne Gegenſtände gebraucht man Fernröhre oder Teleſkope; in einer zum Nachzeichnen bequemen Lage zeigen ſich die Gegenſtände mittelſt der Camera lucida, Camera obſcura u. dgl. Die Haupt-

beſtandtheile der optiſchen Inſtrumente ſind Linſengläſer, mitunter werden auch Spiegel gebraucht. Ein Inſtrument, welches bloß aus Linſen gebildet iſt, heißt ein dioptriſches; kommen aber auch Spiegel dabei in Anwendung, ſo heißt es ein katoptriſches Inſtrument.

342. Die Camera lucida beſteht aus einem Glasprisma ABDC (Fig. 343), welches man mit den gehörigen Winkeln dadurch erhält, daß man mit dem Halbmeſſer AB den Quadranten AD beſchreibt, ihn in C in zwei gleiche Theile theilt und die Sehnen AC und CD zieht. Das Viereck ABDC gibt dann den ſenkrechten Durchſchnitt des gläſernen Prisma's, das hinreichend groß iſt, wenn die Höhe BA = $^1/_2$ Zoll und die Länge 1 Zoll beträgt. Die beim Gebrauche wagrechte Fläche AB wird mit einer geſchwärzten Platte bedeckt, die einen ganz kleinen Ausſchnitt hat, um das Licht durchzulaſſen; das Ganze iſt mit einem Poſtamente verſehen; wie Fig. 344 zeigt. Iſt S ein leuchtender Gegenſtand, der Licht auf BD ſendet, ſo wird davon ein Theil mittelſt totaler Reflexion nach AC und von da auf gleiche Weiſe nach O reflectirt, ſo daß er in das in O befindliche Auge kommt. Man ſieht daher S, nach der Richtung OZ. Befindet ſich nun in U ein weißes Papier, ſo zeigt ſich auf demſelben eine Projection des Gegenſtandes, und da wegen der Kleinheit des Inſtrumentes auch von dem Papiere Licht ins Auge kommen kann, ſo läßt ſich ein Zeichenſtift ſo lenken, daß er den Umriſſen des Bildes folgt. Dieſes artige Inſtrument wurde von Wollaſton erfunden.

Amici hat dieſem Inſtrumente folgende ſehr zweckmäßige Einrichtung gegeben: ab (Fig. 345) iſt ein etwa drei Linien dickes Planglas mit parallelen Wänden, cd ein metallener Planſpiegel, der gegen ab um 135° geneigt iſt. Sendet nun ein leuchtender Punct S Strahlen auf cd, ſo werden ſie in A reflectirt, gelangen auf B, wo ſie eine zweite Reflexion erleiden und ins Auge C kommen. Eben dahin gelangen auch Strahlen vom Puncte D, wo man S ſieht, und man kann daher daſelbſt leicht das Bild von S nachzeichnen. Am einfachſten wird aber dieſer Zweck wohl durch das von Sömmering in Anwendung gebrachte kleine Stahlſpiegelchen erreicht. Auch eine dünne Glastafel genügt in manchen Fällen, z. B. zum Copiren von Zeichnungen, mittelſt welcher man das Bild, und durch welche hindurch man den Zeichenſtift auf dem Papiere ſieht.

343. Die Camera obſcura dient zur Darſtellung von Bildern entfernter Gegenſtände auf einer undurchſichtigen oder durchſichtigen Tafel, entweder bloß um das Vergnügen des Anblickes eines naturtreuen Bildes zu gewähren, oder zum Behufe des Nachzeichnens, wie auch zu der in der neueſten Zeit erfundenen Photographie, wovon ſpäter die Rede ſeyn wird. Zu erſterem Zwecke genügt oft eine einfache Sammellinſe; um dem Bilde eine bequeme Lage zu geben, leitet man das von den Gegenſtänden kommende Licht mittelſt eines ebenen Spiegels in die Linſe, oder man gibt den aus der Linſe tretenden Strahlen erſt mittelſt des Spiegels die ſchickliche Richtung. Damit der der Reinheit des Bildes nachtheilige Einfluß der Abweichung wegen der

Farbenzerſtreuung wie auch wegen der Geſtalt der Linſe vermindert werde, wendet man eine concavconvexe Linſe an, welcher man in einiger Entfernung eine Blendung vorſetzt, krümmt auch wohl die Tafel, worauf das Bild fällt. Da es nicht möglich iſt, durch eine einzige achromatiſche Linſe auf eine ebene Fläche ein Bild von größerer Ausdehnung hinſichtlich des Geſichtsfeldes, d. h. des Winkels, den die von den äußerſten Objecten kommenden Strahlen mit einander machen, mit genügender Schärfe darzuſtellen, ſo wendet man, wo es auf Schärfe des Bildes ankommt, nach Angabe des Prof. Petzval in Wien, eine Combination von zwei Crown-Flintglaslinſen an. (Voigtländer in den Verhandlungen des n. öſt. Gewerbvereins 5. Heft, S. 72.) Fig. 346 ſtellt die Einrichtung der Camera obſcura dar, wie ſie zuweilen auf Gebäuden, welche eine Fernſicht gewähren, vorkommt.

Chevallier erſetzt Linſe und Spiegel einer gewöhnlichen dunklen Kammer durch ein Glas, wovon Fig. 347 einen Durchſchnitt darſtellt, welches an der Fläche AB eben, an der Fläche AC convex, an BC hingegen concav iſt. Fallen nun von einem fernen Gegenſtande Strahlen auf AC, ſo werden ſie wie in einer Linſe gebrochen, und in AB ſo reflectirt, daß ſie durch CB austreten, und in D ein verkehrtes Bild des Gegenſtandes geben.

344. Die dioptriſchen Mikroſkope werden in einfache und zuſammengeſetzte eingetheilt. Streng genommen iſt jede Convexlinſe, ihre Brennweite mag wie immer beſchaffen ſeyn, ein einfaches Mikroſkop, weil ſie von einem Gegenſtande, der ſich innerhalb ihrer Brennweite befindet, die Strahlen ſo ins Auge ſendet, als kämen ſie von einem größeren Objecte her. Man bedient ſich ſolcher Gläſer oft zum Leſen, gibt ihnen dann eine große Oeffnung, damit man mit beiden Augen, wiewohl zu ihrem Nachtheile, zugleich durchſehen könne, und eine bedeutende Brennweite, damit die Axen der Strahlenkegel, die von einem leuchtenden Puncte in beide Augen gehen, mit der Axe des Glaſes keinen zu großen Winkel machen. Man nennt aber vorzugsweiſe nur ſolche Convexlinſen einfache Mikroſkope, deren Brennweite viel kleiner iſt, als die deutliche Sehweite. Beträgt ihre Brennweite einige Zolle, ſo heißt man ſie Loupen. Es ſey AB (Fig. 348) ein Gegenſtand, der in der Sehweite unter einem zu kleinen Winkel erſcheint, als daß er deutlich geſehen werden könnte. Man könnte den Sehwinkel allerdings vergrößern, wenn man AB näher ans Auge rückte, allein dadurch ginge die Deutlichkeit völlig verloren; man wird ihn aber ohne Verluſt derſelben dem Auge viel näher bringen können, wenn man eine mikroſkopiſche Linſe CD zwiſchen AB und das Auge ſtellt, durch deren Wirkſamkeit die Strahlen von AB ſo gebrochen werden, als kämen ſie von einem vergrößerten Gegenſtande A'B' her, welcher ſich in der Entfernung des deutlichen Sehens befindet.

345. Man denke ſich das Auge ſehr nahe an der Linſe, und dieſe von der Art, daß man ihre Dicke vernachläßigen und ſich das Auge in ihrem optiſchen Mittelpuncte O vorſtellen kann, ferner ſey A'B'

in der Entfernung des deutlichen Sehens mit freiem Auge: ſo wird die Vergrößerung m, welche die Linſe gewährt, offenbar durch den Quotienten $\frac{A'B'}{AB}$ gemeſſen. Aber es iſt

$$A'B' : AB = OB' : OB \text{ oder } \frac{A'B'}{AB} = \frac{OB'}{OB}, \text{ mithin } m = \frac{OB'}{OB}$$

Zwiſchen OB, der Entfernung des Gegenſtandes von der Linſe; OB′, der Entfernung des Bildes von derſelben und der Brennweite p der Linſe, findet die in 259 abgeleitete Gleichung (C) Statt. Da aber hier OB′ eine in Bezug auf den bei der Ableitung genannter Gleichung angenommenen Ort des Bildes entgegengeſetzte Lage hat, ſo muß man $OB' = -\alpha$ ſetzen, während $OB = a$ iſt. Dem gemäß wird $\frac{1}{OB} - \frac{1}{OB'} = \frac{1}{p}$, woraus $\frac{OB'}{OB} = \frac{OB'}{p} + 1$ folgt, mithin, wenn man unter der Vorausſetzung, daß das Auge der Linſe möglichſt nahe ſtehe, die der OB′ gleiche Sehweite durch h vorſtellt:

$$m = \frac{h}{p} + 1.$$

Es iſt alſo die Zahl der linearen Vergrößerung um die Einheit größer, als der Quotient aus der Brennweite der Linſe in die deutliche Sehweite. Das Quadrat dieſer Zahl gibt die Vergrößerung der Fläche nach. Bei den gewöhnlichen Angaben der Vergrößerung durch Mikroſkope iſt ſtets letztere zu verſtehen.

Hieraus ſieht man zugleich, daß dieſelbe Linſe für ein weitſichtiges Auge mehr, für ein kurzſichtiges weniger vergrößere, als für ein geſundes, und daß ein einfaches Mikroſkop deſto mehr vergrößere, je kürzer die Brennweite der Linſe iſt. Man hat ſolche Linſen, die über 40,000mal vergrößern, deren Brennweite daher weniger als $\frac{1}{2}$ L. beträgt. Indeß iſt die Stärke der Vergrößerung nicht das einzige, wovon der Werth eines ſolchen Inſtrumentes abhängt. Es gehört dazu auch, daß das Bild deutlich erſcheine. Dieſes wird der Fall ſeyn, wenn die Linſe vollkommen ſphäriſche Krümmungen hat, die Halbmeſſer derſelben ſo eingerichtet ſind, daß die ſphäriſche Abweichung nahe ein Kleinſtes iſt, und die Randſtrahlen durch die Faſſung abgehalten werden. Zur Vermeidung einer großen chromatiſchen Abweichung iſt es gut, die Linſe aus einem Stoffe zu verfertigen, der bei einem großen Brechungsvermögen ein kleines Zerſtreuungsvermögen beſitzt. Daher thun Linſen aus Edelſteinen, z. B. aus Diamant, Saphir ꝛc. ſo gute Dienſte. Mittelſt ſo beſchaffener Linſen kann man die feinſten Gegenſtände, wie z. B. die Parallelſtreifen auf den Schuppen der Schmetterlingsflügel, deutlich ſehen, man wird ſich aber mit einem geringen Geſichtsfelde (Raum, den man auf einmal überſieht) begnügen müſſen, und beim Gebrauche die Ungemächlichkeit nicht ſcheuen dürfen, welche aus der Nothwendigkeit entſpringt, das Auge recht nahe an die Linſe zu bringen.

Man kann ſtatt einer Linſe auch eine mit Waſſer oder Weingeiſt gefüllte Glaskugel, oder gar nur einen Waſſertropfen auf einem durchlöcherten Metallplättchen als Mikroſkop brauchen. Brewſter empfiehlt dazu die Kryſtalllinſen aus Fiſchaugen. Daß bei ſtarken Vergrößerungen das Object hinreichend beleuchtet ſeyn müſſe, verſteht ſich von ſelbſt. Dieſes bewirkt man meiſtens mittelſt eines unter dem Objecte an-

gebrachten Hohlſpiegels; oft wendet man aber noch überdieß eigene kleine Hohlſpiegel an, die man an die Faſſung der Linſe anſteckt, damit ſie das die Linſe verfehlende Licht auf den Gegenſtand zurückſenden. Sie heißen Lieberkühn'ſche Spiegel, und ſind beſonders bei opaken Objecten von Nutzen. Jedes dieſer Inſtrumente kann auch gebraucht werden, ohne das Auge ſo nahe an das Glas zu halten, als vorhin vorausgeſetzt wurde, wenn überhaupt die Oeffnung desſelben nur etwas bedeutend iſt. Je weiter das Auge vom Glaſe entfernt iſt, deſto mehr ſcheint das Object vergrößert, aber deſto kleiner wird das Geſichtsfeld. Bei den ſogenannten Wilſon'ſchen Loupen ſteht das Auge im Brennpuncte des Sammelglaſes, welches zu dieſem Behufe in ein Röhrchen mit einer Oeffnung für das Auge gefaßt wird.

346. Zu den einfachen Mikroſkopen kann man auch diejenigen zählen, welche aus zwei Convexlinſen beſtehen, die ſich ſehr nahe neben einander befinden, und eigentlich die Stelle einer einzigen mehr convexen vertreten, dabei aber eine größere Lichtſtärke (Helligkeit) gewähren, als eine einzelne, eben ſo vergrößernde Linſe, und eine geringere ſphäriſche Abweichung verurſachen. Es iſt begreiflich, daß man auf dieſelbe Weiſe drei Linſen zuſammenſetzen kann.

In die Reihe dieſer Inſtrumente gehört das neue Wollaſton'ſche Mikroſkop mit zwei Planconvexlinſen von verſchiedener Brennweite, die mit den ebenen Flächen gegen das Object gekehrt ſind, auf die aber das Licht, welches das (durchſichtige) Object beleuchtet, und mittelſt eines kleinen Planſpiegels die gehörige Richtung erlangt, vorerſt durch eine Convexlinſe gelangt (Fig. 349). Die Wirkung eines ſolchen Mikroſkops iſt ſehr zufriedenſtellend. (Pogg. Ann. 16. 176. Zeitſchr. 8. 484.)

347. Die gewöhnlichen zuſammengeſetzten Mikroſkope haben folgende Einrichtung: A (Fig. 350) iſt eine Sammellinſe, BC ein Gegenſtand, der etwas außer ihrer Brennweite ſteht und daher hinter A ein verkehrtes und vergrößertes Bild bc gibt; D iſt eine mikroſkopiſche Linſe, die gegen bc ſo ſteht, wie im einfachen Mikroſkope die Linſe gegen ihren Gegenſtand. Zu einem beſonderen Zwecke wird in E (Fig. 351) eine dritte Convexlinſe angebracht. A heißt Objectivlinſe, E Collectivlinſe, D Ocularlinſe. Die Collectivlinſe fängt die aus dem Objectiv tretenden Strahlen, ehe ſie ſich zum Bilde bc vereinigt haben, auf, und es entſteht dadurch ein von der Objectivlinſe weniger entferntes und kleineres Bild b'c', das durch die Ocularlinſe betrachtet wird. Um den Ort des durch die Collectivlinſe modificirten Bildes eines Punctes des Gegenſtandes, z. B. B zu finden, hat man von dem Mittelpuncte der Linſe E zu dem correſpondirenden Puncte b im Bilde, welches die Objectivlinſe für ſich allein erzeugt hätte, eine gerade Linie, den Hauptſtrahl für die Linſe E, zu ziehen, und in ihr Eb' der aus der Gegenſtandsweite Eb folgenden Bildweite gemäß aufzutragen. Bei dieſer Zuſammenſetzung der Linſen erhält man im Geſichtsfelde des Ocularglaſes ein verkehrtes und vergrößertes Bild des Gegenſtandes. Stehen überdieß die Krümmungen, Brennweiten, Oeffnungen der Linſen und ihre gegen-

ſeitigen Stellungen im gehörigen Verhältniſſe; ſo iſt dieſes Bild auch deutlich und hell, und man genießt ein gehörig großes Geſichtsfeld. Dieſes hängt von dem Winkel ab, den die äußerſten der durch die Mitte des Objectives gehenden Strahlen mit einander machen, welche noch ins Auge gelangen können. Der vortheilhafteſte Platz für das Auge iſt der Ort, wo dieſe Strahlen nach dem Austritte aus dem Ocular die Axe des Inſtrumentes durchſchneiden. Man wird aber nur bei einer ſehr guten Einrichtung des Ganzen die Deutlichkeit erlangen, welche ein einfaches Mikroſkop gewährt, weil die Undeutlichkeit des vom Objective gemachten Bildes durch das Ocular noch geſteigert wird. Um zu ſehen, wovon jeder dieſer Vorzüge für ſich abhängt, muß man die einzelnen Theile eines Mikroſkops, vorzüglich die Objectivlinſe und die Ocularlinſen, für ſich betrachten.

348. Eine gewöhnliche, einfache Objectivlinſe wird ſelbſt bei der vollkommenſten ſphäriſchen Geſtalt und der zweckmäßigſten Anordnung ihrer Krümmungen immer ein mit der chromatiſchen Abweichung behaftetes Bild geben; darum muß man ſie durch eine Flintglaslinſe achromatiſiren. Die Flintglaslinſe wird dem Objecte zugewendet. Es iſt allerdings theoretiſch möglich, die vier Krümmungen einer ſolchen Doppellinſe ſo einzurichten, daß mit der chromatiſchen Abweichung auch die ſphäriſche größtentheils aufgehoben, mithin die Linſe aplanatiſch wird; aber in der Ausführung hat dieſes, bei der geringen Größe der Krümmungshalbmeſſer, große Schwierigkeiten. Darum bleibt gewöhnlich bei den achromatiſchen Doppellinſen, beſonders wenn ſie ſehr kurze Brennweiten haben, von jeder der zwei Abweichungen ein Theil übrig. Um dieſen zu heben, braucht man oft drei Linſen, allein dieſe machen das Bild nur von der chromatiſchen Abweichung freier, vergrößern aber nicht ſelten die ſphäriſche. Letztere hebt man am beſten, wenn man zwei oder gar drei möglichſt gut achromatiſirte Doppellinſen unmittelbar über einander ſchraubt. Solche Objective geben aber nicht bloß ein deutlicheres, ſondern auch ein helleres Bild, als die gewöhnlichen, weil man den einzelnen Linſen eine größere Oeffnung geben kann, ohne eine Undeutlichkeit befürchten zu dürfen, und dadurch von jedem Puncte des Objectes einen größeren Lichtkegel ins Auge bringt, als bei einer gewöhnlichen Linſe. Indeß haben ſolche Linſen doch den Nachtheil, daß man das Object ſehr nahe an die äußerſte derſelben ſtellen muß. — Das Bild, welches eine Objectivlinſe macht, wird deſto größer ſeyn, je kürzer die Brennweite der Linſe iſt, und je näher man das Object an den Brennpunct derſelben rückt (oder falls das Objectiv aus mehreren Linſen beſteht, je näher das von der vorletzten gemachte Bild am Focus der letzten Linſe liegt). Mit der Zunahme der Vergrößerung muß aber die Oeffnung der Linſe und mithin auch die Lichtſtärke des Bildes abnehmen, und, wenn das Bild nicht vollkommen deutlich iſt, auch die Undeutlichkeit wachſen.

349. Das Ocular dient nur als einfaches Mikroſkop, durch welches das vom Objective gemachte Bild vergrößert wird; deßhalb

muß es nach denſelben Regeln conſtruirt ſeyn, nach welchen ein ſolches Mikroſkop eingerichtet wird. Doch wird man ein Ocular keineswegs mit ſo kurzer Brennweite verſehen dürfen, wie man es bei einem einfachen Mikroſkope thut, weil das auf einmal zu überſehende Stück des Bildes und daher noch mehr das des Objectes zu klein ausfiele, in den meiſten Fällen auch die Lichtſtärke zu gering wäre und die Deutlichkeit des Bildes völlig verloren ginge. Denn das vom Objective gemachte Bild iſt nie ganz frei von Abweichungen, mithin nicht vollkommen deutlich, und mit der Vergrößerung des Bildes wird natürlich auch jede Undeutlichkeit vergrößert. Darum verträgt ein Mikroſkop ein deſto ſchärferes Ocular, je vollkommener ſein Objectiv iſt; darum kann man bei aplanatiſchen Objectiven dem Oculare einen größeren Theil der Vergrößerung überlaſſen, als bei den gewöhnlichen. Man muß aber ſelbſt bei der beſten Einrichtung des Objectives die chromatiſche und ſphäriſche Abweichung des Oculars zu heben oder auf ein Kleinſtes zu bringen ſuchen. Zu erſterem Zwecke wird das Collectivglas angebracht, deſſen Function man aus Folgendem erſehen wird: Es ſey A a (Fig. 352) ein von dem Objective kommender, auf die Collectivlinſe fallender Lichtſtrahl. Durch dieſe wird er gebrochen und zugleich zerſtreut, ſo daß der violette Theil die Richtung a c, der rothe die Richtung a b erhält, und daher einer die Axe des Inſtrumentes früher ſchneidet als der andere. Allein wenn ſie, bevor ſie ins Auge kommen, noch durch die Linſe O gehen müſſen, ſo wird der violette Strahl, der ſie an einer ihrer Axe näheren Stelle trifft, weniger abgelenkt, als der rothe, und bei gehöriger Anordnung der zwei Linſen werden dieſe Strahlen mit einander parallel, wie b x und c y. Die ſphäriſche Abweichung des Oculars macht man dadurch unſchädlich, daß man Linſen von der beſten Form oder Planconvexlinſen, mit der Krümmung gegen das Object gekehrt, anwendet, und etwa ihre halbe Oeffnung mittelſt der Faſſung deckt. Uebrigens iſt es klar, daß man für daſſelbe Objectiv mehrere Oculare, und für daſſelbe Ocular mehrere Objective brauchen kann, die ſtufenweiſe mehr vergrößern. Plößl, deſſen Mikroſkope mit Recht einen ausgezeichneten Ruf genießen, braucht oft mit Vortheil als Ocular zwei achromatiſirte Linſen.

350. Das Objectiv und die Oculare müſſen in eine Röhre eingeſchloſſen ſeyn, die inwendig zur Abhaltung alles Seitenlichtes geſchwärzt iſt, und ihre Axen müſſen in eine gerade Linie fallen. Da, wo das vom Objective gemachte Bild ſeinen Platz hat, wird überdieß noch ein kreisförmiger Ring (Diaphragma) angebracht, der alles an der Grenze des Bildes befindliche, unordentlich zerſtreute Licht abhält, ja ſogar oft einen Theil des Bildes ſelbſt hindert, die Strahlen auf das Ocular zu ſenden. Das Object wird auf einer beſonderen Unterlage an einem eigens dazu beſtimmten Tiſche angebracht, der ſich dem Objective nähern und davon entfernen läßt, wenn nicht vielleicht das Objectiv ſelbſt gegen denſelben beweglich iſt, um ſo das von letzterem gemachte Bild ſtets in das Diaphragma bringen zu können. Um eine hinreichende Helligkeit zu erzielen, wird das Object eigens mittelſt

Tages=, bequemer mittelſt Lampenlicht beleuchtet. Für durchſichtige Gegenſtände dient ein Concavſpiegel, der unter dem Tiſche nach allen Seiten beweglich angebracht iſt, deſſen Randſtrahlen, wo die Beleuchtung (zum Vortheile der Schärfe der Bilder) gemäßigt werden darf, durch ringförmige Schirme von zweckmäßiger Größe abgehalten werden können; für opake Objecte hat man gewöhnliche Sammellinſen oder noch beſſer eine prismatiſche Linſe, wie ſie Fig. 353, A darſtellt. In dieſe dringt das Licht durch die gekrümmte Fläche a b ein, erleidet an der ebenen, mit der Faſſung belegten Fläche a c eine Reflexion gegen die zweite gekrümmte Fläche bc, und gelangt ſo concentrirt auf das Object d e. Fig. 353 ſtellt ein zuſammengeſetztes Mikroſkop vor.

351. Bei der Beurtheilung eines Mikroſkopes hat man hauptſächlich auf die Reinheit und Größe des Geſichtsfeldes, auf die Deutlichkeit und Klarheit des Bildes und auf die Stärke der Vergrößerung zu ſehen.

352. Das Geſichtsfeld ſoll nicht bloß in der Mitte, ſondern bis auf den äußerſten Rand rein und farblos ſeyn und eine hinreichende Größe haben. Letztere beſtimmt man am beſten mittelſt eines hinreichend fein getheilten Mikrometers, indem man ihn als Object braucht und die Anzahl der auf einmal überſehenen Theilungsfelder zählt.

353. Die Deutlichkeit und Klarheit der Bilder ſchätzt man mittelſt zweckmäßig gewählter Probeobjecte. Als ſolche ſind vorzüglich die oberſten Schuppen der Schmetterlingsflügel brauchbar, wie z. B. die vom Papilio Crataegi und Brassicae oder vom Papilio Menelaus oder von der Kleidermotte. Dieſe Schuppen ſind auf ihrer Oberfläche der Länge nach mit feinen, parallelen Streifen verſehen. Je deutlicher dieſe Linien erſcheinen und bei je geringerer Vergrößerung man ſie ſieht, deſto größer iſt die Deutlichkeit des Bildes.

Die Längenſtreifen des Papilio Crataegi, Brassicae und Menelaus ſollen bei 60—80maliger linearer Vergrößerung erſcheinen, bei 100—200maliger ſoll man auch die Zwiſchenräume ſehen und den Stiel als coniſche Röhre erkennen. Die Streifen auf den Schuppen der Motte zeigen nur die beſten Inſtrumente bei einer 300—400maligen Vergrößerung. Ganz vorzügliche Inſtrumente machen da auch Querlinien bemerkbar. Es iſt überhaupt gut, irgend ein Object, deſſen vergrößertes Bild man durch öfteres Anſchauen im Gedächtniſſe hat, zur Prüfung eines Mikroſkopes zu wählen.

354. Die Stärke der Vergrößerung eines Mikroſkopes kann man entweder aus den bekannten Brennweiten der Linſen und ihrer Entfernung von einander und vom Objecte durch Rechnung finden, oder durch Verſuche ausmitteln. Im erſteren Falle ſucht man die durch das Objectiv (348) und dann die durch das Ocular (349) bewirkte Vergrößerung. Das Product beider gibt die Vergrößerung des Mikroſkopes. Bei der practiſchen Beſtimmung der Vergrößerungszahl kann man auf zweifache Weiſe verfahren und entweder die ganze Vergrößerung auf einmal ſuchen, oder jeden der zwei Theile, aus denen

ſie beſteht, beſonders beſtimmen. Die durch das Objectiv bewirkte Vergrößerung läßt ſich auf practiſchem Wege ſo finden: Man betrachte ein Mikrometer als Object und zähle, wie viele Felder ſeines Gitters man auf einmal überſieht. So vielmal nun der Durchmeſſer des überſehenen Stückes in dem Durchmeſſer des Diaphragma's enthalten iſt, ſo vielmal vergrößert das Objectiv linear. Oder man nehme zwei ganz gleiche Mikrometer, lege einen als Object auf den Tiſch des Inſtrumentes, den anderen in das Diaphragma unter dem Oculare. Da der eine nur durch das Ocular, der andere durch das Objectiv und Ocular zugleich vergrößert wird, ſo braucht man nur zu beobachten, wie viele Theile des einen in einen Theil des anderen fallen, um zu erfahren, wie vielmal das Objectiv vergrößere. Die vom Oculare herrührende Vergrößerung kann man nur durch Rechnung bekommen. Durch Multiplication der vom Objectiv hervorgehenden Vergrößerung mit der vom Oculare erzeugten erhält man wieder die ganze Vergrößerung des Inſtrumentes. Zur Beſtimmung der ganzen vergrößernden Wirkung des Mikroſkopes iſt vorzüglich das vom Freiherrn von Jacquin angegebene Verfahren zu empfehlen. Man befeſtiget nämlich über dem Ocular einen kleinen Planſpiegel ſo, daß er gegen die Axe des Inſtrumentes um 45° geneigt iſt, und legt ein Mikrometer als Object ein. Da ſieht man nun in dem Spiegel das Bild des Objectes in horizontaler Richtung an einer gegenüber ſtehenden Wand, wenn das Mikroſkop vertical ſteht. Iſt dieſe Wand in der deutlichen Sehweite und mit einer in Linien getheilten Scale verſehen, ſo kann man leicht abnehmen, wie groß ein Theil des Mikrometers erſcheint und durch Diviſion der ſcheinbaren Größe durch die wirkliche die lineare Vergrößerungszahl finden. (Jacquin in Zeitſchr. 4. 1.)

Man kann mittelſt eines Mikrometers auch den Durchmeſſer kleiner Gegenſtände, die man durch das Mikroſkop ganz ſieht, beſtimmen. Zu dieſem Behufe legt man ein Mikrometer auf die Blendung unter dem Ocularglaſe, wobei dieſe Blendung ſo ſtehen muß, daß das Mikrometer durch das Ocularglas betrachtet, vollkommen deutlich erſcheint. Bringt man nun vorläufig vor das Objectiv ein Mikrometer, und kennt man den abſoluten Werth des Abſtandes zweier benachbarten Theilſtriche auf demſelben genau, ſo erfährt man durch Vergleichung beider Mikrometer, ein für alle Mal, wie groß ein vor dem Objectiv ſtehender Gegenſtand iſt, deſſen Bild mit dem Mikroſkop deutlich geſehen, auf dem Ocular-Mikrometer eine gewiſſe Anzahl Theilſtriche einnimmt, ſo daß man durch bloße Anwendung des Ocular-Mikrometers mit Leichtigkeit die Dimenſionen jedes beliebigen Objectes (ſogar eines in Bewegung befindlichen Gegenſtandes), mit einer von der Beſchaffenheit der angewendeten Mikrometer abhängenden Genauigkeit meſſen kann. Ganz Vorzügliches leiſten die von dem großen Künſtler Fraunhofer und auch an Plößl's Inſtrumenten angebrachten Schraubenmikrometer, wodurch man jede kleine Verſchiebung des Objecttiſches des Mikroſkopes, und wenn man ſo die beiden Enden des Bildes der zu meſſenden Dimenſion eines Gegenſtandes mit einem feinen, über die Blendung des Oculars geſpannten Faden nach einander in Contact bringt, den Durchmeſſer eines Gegenſtandes bis $^1/_{100000}$ eines Zolles finden kann. (Brander's Beſchreibung zweier zuſammengeſetzter

Mikroſkope. Augsburg, 1769. *Essay on the microscope by Adams. London.* 1787. Klügel's Dioptrik. Leipzig, 1778. S. 252 u. ſ. f. Sehr lehrreich iſt ein Aufſatz über Mikroſkope vom Freih. von Jacquin in Zeitſchr. 5. 129.)

355. Unter den katoptriſchen Mikroſkopen iſt das von Amici erfundene bei weitem das vorzüglichſte. Es beſteht im Weſentlichen aus zwei Metallſpiegeln a und b (Fig. 354), die ſich in einem horizontalen Rohre befinden, und aus einem Ocularglaſe. Der größere Spiegel iſt hohl, elliptiſch gekrümmt, hat einen gleichen Durchmeſſer mit dem Rohre, befindet ſich am Ende deſſelben und iſt ſo geſtellt, daß ſeine Axe mit der des Rohres zuſammenfällt. Der andere Spiegel iſt eben, ſehr klein, unter 45° gegen die Axe des Rohres geneigt, ſo geſtellt, daß ſeine Mitte in dieſer Axe liegt, mit der ſpiegelnden Oberfläche nach unten gekehrt und einer Oeffnung im Rohre zugewendet, unter welcher ſich der Objectträger c befindet. Zur Beleuchtung des Gegenſtandes dienet ein Hohlſpiegel. Das wohlbeleuchtete Object ſendet die Strahlen durch die Oeffnung auf den Planſpiegel, der ſie auf den elliptiſchen Hohlſpiegel zurückwirft, und dieſer macht am entgegengeſetzten Ende des Rohres ein Bild, das man mit einem Ocularglaſe anſehen kann. Dieſes Inſtrument gewährt eine bedeutende Vergrößerung, ſtellt wegen Mangel der Farbenzerſtreuung die Gegenſtände ſcharf und in ihren wahren Farben dar, man kann damit Gegenſtände von bedeutender Größe, ſelbſt ſolche, die im Waſſer ſchwimmen, beobachten, weil ſie wenigſtens $^1/_2$ Zoll vom Körper des Inſtrumentes entfernt bleiben, beim Beobachten länger aushalten, indem das Inſtrument horizontal ſteht, und die Vergrößerung ſchnell wechſeln, ohne die Entfernung des Objectes vom Inſtrumente zu ändern; doch muß man alle die Vortheile durch Aufopferung der Lichtſtärke erkaufen, beſonders wenn man ſtarke Vergrößerungen anbringen will. (*Memoria di Microscopi catadioptrici. Mod.* 1818. Zeitſchr. 1. 301. Barfuß, Theorie der Spiegelmikroſkope. Weimar 1840.)

356. Zu den Mikroſkopen kann man auch das Sonnen-, das Gas- (Hydro-Oxygen-) und das Lampenmikroſkop zählen. Der Zweck dieſer Inſtrumente iſt, die Bilder kleiner Gegenſtände ſtark vergrößert auf eine weiße Tafel oder auf einen transparenten Schirm zu projiciren, und auf dieſe Weiſe mehreren Perſonen zugleich ſichtbar zu machen. Sie kommen darin überein, daß bei jedem derſelben der Gegenſtand in umgekehrter Lage vor eine oder beſſer vor mehrere achromatiſch und aplanatiſch verbundene Linſen geſtellt wird, etwas weiter als der Vereinigungspunct paralleler Strahlen von denſelben entfernt. Je mehr der Gegenſtand letzterem Puncte genähert wird, deſto größer fällt die Bildweite, mithin um ſo größer das Bild ſelbſt aus. Aber die Lichtſtärke des Bildes wird dabei im Verhältniſſe des Quadrates jeder linearen Dimenſion deſſelben verringert; ſoll daher dieſes Bild auf dem Schirme oder der Tafel, worauf man es auffangt, mit befriedigender Helligkeit erſcheinen, ſo muß man für hinreichende Beleuchtung des Gegenſtandes Sorge tragen. Durch die Art, auf welche dieſe er-

zielt wird, unterſcheiden ſich oben genannte drei Inſtrumente. Bei dem Sonnenmikroſkope, Fig. 355, dient das Sonnenlicht zur Beleuchtung. Die auf einen beweglichen, gehörig geſtellten ebenen Spiegel A fallenden Sonnenſtrahlen werden nach ihrer Reflexion von einer großen Sammellinſe B aufgenommen, und durch dieſe in ihrer Brennweite zu einem Sonnenbilde vereinigt. An den Ort desſelben bringt man den Gegenſtand, wenn er durchſichtig iſt. Die durch ihn gehenden Strahlen fallen auf die mikroſkopiſchen Linſen C, deren Axe mit jener des Beleuchtungsglaſes übereinſtimmt. Gewöhnlich wendet man aber ſtatt Einer Beleuchtungslinſe, deren zwei an, Fig. 356, indem die von der größeren Linſe B convergent gemachten Sonnenſtrahlen durch eine zweite kleinere Linſe D noch mehr convergent werden, wodurch zugleich die Größe des beleuchtenden Raumes MN geſteigert wird. Undurchſichtige Gegenſtände müſſen auf der den mikroſkopiſchen Linſen zugekehrten Seite beleuchtet werden, zu welchem Behufe man die durch die Beleuchtungslinſen vereinigten Strahlen mittelſt eines Spiegels dem, ſammt den mikroſkopiſchen Linſen etwas höher geſtellten Gegenſtande zuſendet. Bei dem Gasmikroſkope wird, wie Carry zuerſt gethan hat, das ſehr intenſive Licht, welches ein Stück friſch gebrannten Kalkes in der Knallgasflamme verbreitet, zur Beleuchtung des Objectes benützt. Da hier nicht wie bei dem Sonnenlichte parallele, ſondern divergirende Strahlen auf die Beleuchtungslinſe fallen, ſo iſt bei der Anordnung des Beleuchtungsapparates darauf Rückſicht zu nehmen. Bei dem Lampenmikroſkope behilft man ſich zur Beleuchtung des Gegenſtandes mit einer guten Oehllampe, muß ſich aber auch mit einer geringeren Ausdehnung des Bildes begnügen, zu welchem Zwecke man die dasſelbe hervorbringenden Strahlen, durch eine oder mehrere größere Linſen G, H (Fig. 357) auf einen engern Raum zuſammendrängt, und das Bild mit einem transparenten Schirme auffängt. Fig. 357 zeigt die Anordnung der Beleuchtung eines undurchſichtigen Gegenſtandes. C iſt eine ſehr convexe Linſe, welche von einer ſtarken Lampe A Licht bekommt, und es in parallelen Strahlen auf den Hohlſpiegel B ſendet, der ſo geneigt iſt, daß er es auf das Object E ſchickt, von welchem es zu den mikroſkopiſchen Linſen F gelangt. Das Megaſkop unterſcheidet ſich von den hier beſchriebenen Mikroſkopen bloß dadurch, daß es zur Darſtellung von Bildern größerer Gegenſtände beſtimmt iſt, daher ſtatt der mikroſkopiſchen Linſen eine Linſe von größerer Brennweite enthält, die keine ſo ſtarke Vergrößerung gewährt, vor welcher der gut beleuchtete Gegenſtand in verkehrter Lage ſteht.

Mehr zur Spielerei als zum wahren Nutzen dient die Zauberlaterne (Fig 358). Sie beſteht aus zwei Sammelgläſern A und B. Vor dem erſten, aber innerhalb ſeiner Brennweite, ſteht ein transparentes auf Glas gemaltes Bild C, welches von einer ſtarken Flamme a, mittelſt eines Beleuchtungsſpiegels D erhellet wird. Das zweite Glas ſteht ſo, daß es ein großes Bild EF des Gegenſtandes macht, welches man auf einer Wand auffangen kann. Iſt dieſe Wand durchſcheinend, ſo kann man hinter ihr die Bilder der Gegenſtände vergrößert ſehen und

auf dieſe Weiſe ſehr impoſante, phantasmagoriſche Phänomene hervorbringen.

357. Fernröhre (Teleſkope) braucht man, um entfernte Gegenſtände vergrößert zu ſehen. Sie werden, wie die Mikroſkope in dioptriſche und katoptriſche eingetheilt, d. i. in ſolche, die bloß aus Linſen, und in ſolche, welche aus Linſen und Spiegeln beſtehen. Große dioptriſche pflegt man Refractoren, große katoptriſche Reflectoren zu nennen. Ein dioptriſches Inſtrument von mittlerer Größe heißt ein Tubus. Da der Zweck der Fernröhre derſelbe iſt, wie jener der Mikroſkope, ſo muß in ihrer Conſtruction viel Uebereinſtimmung herrſchen; allein da Mikroſkope zur Beſichtigung naher Gegenſtände gebraucht werden, die man nach Bedürfniß beleuchten kann, Objecte aber, welche der Gegenſtand der Betrachtung durch Fernröhre ſind, eine größere Entfernung von uns haben und in ihrer natürlichen Beleuchtung angeſehen werden müſſen; ſo wird im Baue der Fernröhre auch manches Eigenthümliche vorkommen. An jedem Fernrohre, es ſey ein dioptriſches oder katoptriſches, muß man zwei Theile unterſcheiden, nämlich das Objectiv und das Ocular. Bei den dioptriſchen iſt das Objectiv eine Converlinſe, bei den katoptriſchen ein Hohlſpiegel.

358. Das Objectiv iſt der wichtigſte Theil eines Fernrohres, aber auch derjenige, welcher am ſchwerſten in gehöriger Vollkommenheit zu verfertigen iſt. Es ſoll einen bedeutenden Durchmeſſer haben, um von jedem Puncte des Objectes einen großen Lichtkegel aufnehmen und ein helles Bild geben zu können. Große und zugleich homogene Glasſtücke, wie ſie zu größeren Objectiven erfordert werden, ſind aber, beſonders bei Flintglas, das gar leicht wellig erſcheint, ſchwer zu erhalten, und es gehört große Geſchicklichkeit dazu, großen Linſen genau die Krümmung einer Kugel zu geben. Da das Bild auch deutlich ſeyn ſoll, ſo muß man die Linſe ſowohl von der chromatiſchen, als auch von der ſphäriſchen Abweichung möglichſt frei machen und darum ſie durch eine Hohllinſe von Flintglas achromatiſiren und den einzelnen Flächen dieſer Doppellinſe die Krümmungen geben, welche nöthig ſind, um die ſphäriſche Abweichung auf ein Kleinſtes zu bringen. Dieſes wird bei großen Objectiven ohne Vergleich ſchwieriger ſeyn, als bei kleineren, weil man bei jenen manches in Rechnung bringen muß, das man bei dieſen vernachläßigen kann, wie z. B. die Dicke der Gläſer, die Entfernung der zwei Beſtandtheile der Doppellinſe ꝛc. Man kann nicht darauf rechnen, die ſphäriſche Abweichung durch Uebereinanderlegen zweier oder dreier achromatiſchen Linſen heben zu können, weil durch ihre Anwendung dem Bilde zu viel Licht entgeht. Darum hat auch Fraunhofer immer nur Doppelobjective gewählt, doch ſcheinen dreifache in mancher Beziehung beſondere Vorzüge zu haben. Bei jenen iſt das Crownglas auswärts gekehrt und doppelt, aber ungleich conver, das Flintglas aber nach innen und iſt conver-concav. Objective mit von einander ſtark abſtehenden Beſtandlinſen (dialytiſche Linſen) gewähren viele Vorzüge, weil man mit einem Flintglaſe ausreicht,

das nur halb ſo viel Oeffnung hat, als das Crownglas, weil die Länge des Inſtrumentes geringer ausfällt und doch noch eine größere Bildſchärfe erzielt wird. Wenn man ein einfaches Objectiv brauchen will, ſo muß man alle Randſtrahlen durch eine Blendung abhalten und doch auf eine ſtarke Färbung des Bildes gefaßt ſeyn.

359. Nach Verſchiedenheit des Oculars, das man mit einem Objective verbindet, dient das hieraus hervorgehende Fernrohr zu verſchiedenen Zwecken und erhält auch verſchiedene Namen. Nimmt man als Ocular eine Hohllinſe und gibt ihr eine ſolche Stellung gegen das Objectiv, daß die von einem hinreichend entfernten Gegenſtande auffallenden und durch das Objectiv convergirend gemachten Strahlen durch das Concavglas ſo gebrochen werden, als kämen ſie von einem Gegenſtande, der ſich in der deutlichen Sehweite befindet, ſo heißt das Inſtrument ein holländiſches oder galileiſches. Iſt A (Fig. 359) das Objectivglas eines ſolchen Fernrohres, das von einem entfernten Gegenſtande Strahlen bekommt; ſo würde dieſes ein Bild a c b geben, wenn kein Ocularglas da wäre. Durch dieſes Glas B werden aber, vorausgeſetzt, daß die Entfernung deſſelben von a b etwas größer iſt, als ſeine imaginäre Brennweite, die Strahlen ſo gebrochen, als kämen ſie vom Bilde a′ c′ b′. Man wird daher den Gegenſtand in natürlicher Lage, und wenn ſich das Bild in der Sehweite des Auges befindet, auch deutlich ſehen. — Um die Vergrößerung m dieſes Inſtrumentes zu finden, muß man den Sehwinkel, unter welchem der Gegenſtand mit dem Inſtrumente erſcheint, mit dem vergleichen, unter welchem er ohne Inſtrument geſehen wird. Denkt man ſich das Auge an dem Platze des Objectivglaſes, ſo iſt der halbe Sehwinkel ohne Inſtrument b O c, und der mit dem Inſtrumente kann ohne Fehler für b O′c angenommen werden. Nun iſt aber

$$tang\ \mathrm{b\,O\,c} = \frac{\mathrm{b\,c}}{\mathrm{O\,c}},\ tang\ \mathrm{b\,O'c} = \frac{\mathrm{b\,c}}{\mathrm{O'c}},\ \frac{tang\ \mathrm{b\,O'c}}{tang\ \mathrm{b\,O\,c}} = \frac{\mathrm{O\,c}}{\mathrm{O'c}},$$

mithin weil b O c und b O′c nur kleine Winkel ſind,

$$\mathrm{m} = \frac{\mathrm{b\,O'c}}{\mathrm{b\,O\,c}} = \frac{\mathrm{O\,c}}{\mathrm{O'c}}.$$

Wegen der ſehr großen Entfernung des Gegenſtandes vom Objectivglaſe kann O c der Brennweite p dieſer Linſe gleich geſetzt werden. Nennt man nun die Brennweite des Ocularglaſes p, und ſetzt man, weil O c größer iſt als dieſe, O c = p′ + δ, ſo hat man

$$\mathrm{m} = \frac{\mathrm{p}}{\mathrm{p'} + \delta}.$$

Um die Größe von δ zu beurtheilen, bedenke man, daß die Axen der aus dem Oculare tretenden Strahlenkegel divergiren, mithin das Auge, um an möglichſt vielen dieſer Strahlenbündel Antheil zu nehmen, dicht hinter dem Oculare ſtehen muß. Es wird alſo O′c′ der Sehweite gleich geſetzt werden müſſen, die wir mit h bezeichnen wollen. Schreiben wir nun, um die Formel (C) in 259 auf den vorliegenden Fall anzuwenden — O′c ſtatt a, — h ſtatt α, — p′ ſtatt p, ſo ergibt ſich die Gleichung

$$\frac{1}{O'c} = \frac{1}{p'} - \frac{1}{h} = \frac{h - p'}{h p'}, \text{ d. h. } p' + \delta = \frac{h p'}{h - p'},$$

$$\text{alſo } \delta = \frac{p'^2}{h - p'}.$$

Iſt nun, was in der Regel Statt findet, die Brennweite des Ocularglaſes gegen die Sehweite ſehr klein, ſo kann δ als eine zu vernachläßigende Größe betrachtet werden, und es wird $m = \frac{p}{p'}$.

Die Vergrößerungszahl iſt daher unter den genannten Vorausſetzungen gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Ocularglaſes in die des Objectivglaſes.

Streng genommen gilt dieſe Regel, wie aus dem Geſagten erhellet, nur für ein unendlich weitſichtiges Auge. Kleinere Werthe von h geben größere Werthe für δ; es müſſen daher Kurzſichtige das Ocular dem Objective mehr nähern, als Weitſichtige. Wegen der Divergenz der Axen, der aus dem Oculare kommenden Strahlenbündel hat ein ſolches Fernrohr immer nur ein ſehr kleines Geſichtsfeld. Deßhalb kann man es nur dann zu ſtärkerer (10—30maligen) Vergrößerung brauchen, wenn alles in hohem Grade vollkommen conſtruirt worden, wie dieſes bei Plößl's ſogenannten Feldſtechern der Fall iſt, die im Verhältniß ihrer Größe Unglaubliches leiſten (Zeitſchr. 8. 189). Es bleibt zwar ſelbſt bei der Anwendung eines achromatiſchen Objectives, die durch das Ocularglas bewirkte Farbenzerſtreuung übrig; allein dieſe bringt keine gar große Wirkung hervor, weil das Auge ſehr nahe am Ocularglaſe ſteht, wo die Strahlen nicht ſehr divergiren. Man hält es deßhalb nicht immer für nothwendig, durch Einführung eines Collectivglaſes dieſer Zerſtreuung ſo zu ſteuern, wie es beim Mikroſkope geſchah, um ſo mehr, da die minder (2—4mal) vergrößernden Inſtrumente dieſer Art meiſtens nur als Theaterperſpective, mithin Nachts gebraucht werden, wo das Licht minder lebhaft iſt. Man kann ein Inſtrument mit mehreren Ocularen von verſchiedener Stärke verſehen und ſie an eine Drehſcheibe befeſtigen, damit man ſie ſchnell wechſeln und ſo hinter einander mehrere (3 oder 4) verſchiedene Vergrößerungen anbringen könne, wie dieſes ebenfalls an Plößl's Feldſtechern der Fall iſt.

360. Wird eine Converlinſe zum Ocular gewählt, ſo erhält man das aſtronomiſche Fernrohr. Dieſes beſteht demnach aus einem converen Objectivglaſe A (Fig. 360) und aus einem converen Ocularglaſe B. Dieſe ſind ſo geſtellt, daß das von einem entfernten Gegenſtande auf A fallende Licht zu einem verkehrten Bilde ab vereinigt wird und von da aus ſo ins Ocularglas gelangt, daß für ein dahinter befindliches Auge ein Bild a'b' in der deutlichen Sehweite erſcheint. Man ſieht daher den Gegenſtand verkehrt und bei gehöriger Wahl des Oculars auch vergrößert. Zur Beſtimmung der Vergrößerung m kann man wieder annehmen, daß aob der Sehwinkel des Gegenſtandes für das freie, und ao'b für das bewaffnete Auge ſey. Man hat daher, wie vorhin

$$\frac{\tang a o' c}{\tang a o c} = \frac{o c}{o' c} \text{ oder nahe } \frac{a o' b}{a o b} = \frac{o c}{o' c} = m.$$

Heißt man die Brennweite des Objectivglaſes, die man $= oc$ ſetzen

kann, p; jene des Ocularglaſes p′, und ſetzt man, da o′c < p′ ſeyn muß, o′c = p′ — δ, ſo wird

$$m = \frac{p}{p' - \delta},$$

oder in ſofern man δ vernachläßigen darf,

$$m = \frac{p}{p'},$$

d. i. die Vergrößerungszahl gleicht dem Quotienten aus der Brennweite des Ocularglaſes in die des Objectivglaſes.

Dieſe Inſtrumente werden gewöhnlich mit der größten Sorgfalt conſtruirt, damit ſie von den Himmelskörpern, zu deren Beobachtung man ſie anwendet, ein ſtark vergrößertes und doch recht deutliches Bild geben. Darum muß man auch die Farbenzerſtreuung des Oculars durch Einführung eines Collectivglaſes, wie bei den Mikroſkopen aufheben, um ſo mehr, als dadurch zugleich auch das Geſichtsfeld vergrößert wird. Hinſichtlich deſſelben gilt hier alles, was in Betreff des Oculares eines zuſammengeſetzten Mikroſkopes geſagt wurde. Es ſtimmt auch die Einrichtung des Ocularapparates eines aſtronomiſchen Fernrohres mit jenem des Mikroſkopes in der Regel überein; nur für beſondere Zwecke bedient man ſich der von Ramsden zuerſt ausgeführten Einrichtung, bei der die vom Objectiv kommenden Strahlen erſt, nachdem ſie ein Bild geliefert haben, ins Collectivglas eintreten, mithin zwiſchen dieſes und das Ocular kein Bild fällt. Es werden nämlich oft bei ſolchen Fernröhren an der Stelle des Diaphragma's, d. i. an den Platz des vom Objectiv herrührenden Bildes am Oculare feine Fadenkreuze oder Mikrometer eingeſetzt, um damit Objecte meſſen zu können. Ramsdens Ocular geſtattet die Vertauſchung deſſelben mit einem andern ſchärferen oder ſchwächeren, ohne Aenderung des Mikrometers, während bei der früheren Anordnung mit jedem Oculare ein beſonderes Mikrometer verbunden ſeyn muß. Bei ſehr ſtarken Vergrößerungen iſt man genöthigt auf das Collectiv gänzlich zu verzichten.

361. Um irdiſche Gegenſtände ſtark vergrößert und doch aufrecht zu ſehen, verbindet man mit dem Objective ein dreifaches oder gar ein vierfaches Ocular, und nennt das daraus hervorgehende Fernrohr ein Erdfernrohr. Ein ſolches ſtellt Fig. 361 dar. Das Objectivglas A macht von einem hinreichend entfernten Gegenſtande ein verkehrtes Bild ab; von dieſem fallen die Strahlen auf das erſte Ocularglas B, gelangen von dieſem auf das zweite C und auf das dritte und vierte D und E ſo, daß entweder hinter dem zweiten C oder hinter dem dritten ein aufrechtes Bild des Gegenſtandes entſteht, welches, durch die zwei oder durch die eine noch übrige Ocularlinſe angeſehen, in der deutlichen Sehweite erſcheint. Es dienen daher die Linſen B und C zur Umkehrung des Bildes, die Linſe D zur Achromatiſirung des vom Oculare E gemachten Bildes. Die Vergrößerung eines ſolchen Inſtrumentes hängt von dem Verhältniſſe der Brennweiten der einzelnen Linſen und von ihrer gegenſeitigen Entfernung ab. Darum kann man mit demſelben Inſtrumente, ohne das Ocular zu verwechſeln, mehrere Vergrößerungen dadurch hervorbringen, daß man die Entfernung der Ocularlinſen von einander ändert. Damit aber dadurch die Deutlichkeit nicht leide, darf nur die Lage der drei inneren Oculare gegen

einander, nicht aber die des äußerſten gegen das Auge geändert werden, auch wird es für dieſe nur beſtimmte Lagen geben, wo ſie ihren Dienſt nicht verſagen. Derlei Oculateinrichtungen heißen Pancratiſche oder Kitſchiner'ſche. (Zeitſchr. 4. 501.)

Als eines der größten dioptriſchen Fernröhre, welche bis jetzt verfertigt wurden, kann der Fraunhofer'ſche Refractor zu Dorpat angeführt werden. Sein Objectiv hat 9 P. Z. Oeffnung und 160 Z. Brennweite, und vergrößert mit dem ſchärfſten Oculare 600mal. Er iſt zugleich mit einem Uhrwerke eigener Art in Verbindung, durch welches er in 24 Stunden in einem Kreiſe wie ein Fixſtern herumgetrieben wird, ſo daß, wenn einmal ein Fixſtern in das Geſichtsfeld gebracht iſt, derſelbe ſtets darin bleibt, ohne einer Beihilfe des Beobachters zu bedürfen.

362. Zur Zeit, als man noch an der Möglichkeit achromatiſcher Linſen zweifelte, wußte man kein anderes Mittel, durch Fernröhre reine und vom farbigen Rande möglichſt freie Bilder entfernter Gegenſtände zu bekommen, als durch Anwendung der Spiegel ſtatt der Linſen. Auf dieſe Weiſe entſtanden die katoptriſchen Fernröhre, von denen vorzüglich vier Gattungen bekannt ſind: nämlich das Herſchel'ſche, das Newton'ſche, das Gregory'ſche und das Caſſegrain'ſche.

363. Ein Fernrohr nach Herſchel's Art beſteht aus einem Hohlſpiegel AB (Fig. 362), der etwas gegen die Axe der Röhre, in welcher er ſich befindet, geneigt iſt und von weit entfernten Gegenſtänden ein verkehrtes Bild ab in der Nähe des unteren Randes der Röhre macht, das man durch eine Ocularlinſe C anſehen kann. Solche Inſtrumente müſſen ſehr große Spiegel haben, damit die Anzahl der Strahlen, welche durch den Kopf des Beobachters vom Spiegel abgehalten werden, gegen die ganze Lichtmenge, welche den Spiegel trifft, unbedeutend ſey.

Das große Inſtrument, womit Herſchel einen bedeutenden Theil ſeiner ſo wichtigen Entdeckungen machte, hatte einen Hohlſpiegel von 4 Fuß Durchmeſſer und einer Brennweite von 40 Fuß; er wog 25 Zentner. Dieſes Inſtrument vergrößerte 7000mal und brachte 36500mal mehr Licht ins Auge, als von demſelben Objecte frei dahin gelangen konnte.

364. Im Newton'ſchen Fernrohre werden die von einem entfernten Gegenſtande auf den großen Hohlſpiegel AB (Fig. 363) fallenden und von da zurückgeworfenen Strahlen, von einem kleineren, gegen die Axe des erſteren unter 45° geneigten Planſpiegel CD, nach einer ſeitwärts angebrachten Convexlinſe E reflectirt, ſo daß das verkehrte Bild des Gegenſtandes durch E angeſehen werden kann. Es hat aber die Unbequemlichkeit, daß es die Gegenſtände verkehrt zeigt und daß man zum Aufſuchen derſelben viele Mühe braucht. Indeß wird letzteres durch ein kleines dioptriſches Fernrohr (Sucher), das mit der Axe des Rohres parallel läuft, bedeutend erleichtert.

365. Das Gregory'ſche Fernrohr (Fig. 364) vereiniget durch einen Hohlſpiegel AB die von einem entlegenen Gegenſtande kommenden Strahlen zu einem verkehrten Bilde ab. Von dieſem gelangen

die Strahlen auf einen zweiten kleinen Hohlſpiegel CD, werden da gegen den großen Spiegel reflectirt, in deſſen Mitte ſich ein Loch befindet, und zu einem aufrechten Bilde cd vereiniget, welches durch die im Loche des Spiegels befindliche Converlinſe E angeſehen werden kann. Dieſes Inſtrument zeigt zwar aufrecht und vergrößert, aber die Bilder leiden durch die Abweichung wegen der Kugelgeſtalt beider Spiegel ſehr an Deutlichkeit.

366. Um die große Abweichung wegen der Kugelgeſtalt, die im vorigen Inſtrumente Statt findet, zu vermindern, hat Caſſegrain ſtatt des kleineren Concavſpiegels einen kleinen Converſpiegel angebracht. Da ſind aber die Spiegel ſo geſtellt, daß die Strahlen vom concaven eher auf den converen fallen, als ſie zu einem Bilde vereiniget werden.

367. Das Ocular eines Fernrohres muß mit ſeinem Objective, es mag dieſes nun eine Linſe oder ein Spiegel ſeyn, ſo verbunden werden, daß ihre Axen in einer geraden Linie liegen. Beide werden in Röhren eingeſetzt. Das Ocular bekommt gewöhnlich eine eigene Röhre, damit es die für jedes Auge und für jede Entfernung des zu betrachtenden Gegenſtandes angemeſſene Entfernung vom Objective annehmen kann. Kleinere Inſtrumente, deren Länge nicht viel über zwei Fuß beträgt, bekommen Zugröhren, damit ſie ſich zuſammenſchieben und bequem tragen laſſen. Größere kann man nicht mit Zugröhren verſehen, weil dieſe faſt nie völlig gerade ſind; ſelbſt wenige Zolle lange Zugröhren paſſen nur in einer gewiſſen Lage am beſten zuſammen, die darum oft mittelſt Sternchen bezeichnet iſt. Das Innere der Röhren wird zur Abhaltung alles Seitenlichtes geſchwärzt, und an den Stellen, wohin die wirklichen Bilder fallen, mit Diaphragmen verſehen. Bekommt ein ſolches Inſtrument ein Fadenkreuz, ſo muß dieſes an der Stelle eines Bildes angebracht werden. Katoptriſche Inſtrumente werden faſt immer mit Metallfaſſungen verſehen und laſſen ſich nicht wohl als Taſchenfernröhre brauchen. Bei dieſen ſowohl, als bei dioptriſchen Inſtrumenten muß das Ocular in Betreff der Oeffnung und Brennweite zum Objective paſſen. Gewöhnlich iſt ſie eine Planconverlinſe, nur bei dialytiſchen Fernröhren iſt ſie aus guten Gründen biconver.

368. Ein Fernrohr iſt deſto vollkommener, je mehr es vergrößert, je deutlicher und heller ſeine Bilder ſind und je größer ſein Geſichtsfeld iſt. Jede einzelne dieſer guten Eigenſchaften läßt ſich aber nur auf Koſten der übrigen erhöhen. Will man z. B. die Vergrößerung ſteigern, ſo muß man bei demſelben Objective ein Ocular mit kürzerer Brennweite nehmen; dieſes muß aber eine kleinere Oeffnung erhalten, wenn das Bild deutlich bleiben ſoll, und wird darum ein kleineres Geſichtsfeld gewähren. Daß das Bild an Helligkeit verlieren müſſe, iſt für ſich klar, auch iſt es leicht einzuſehen, daß dieſe bei derſelben Vergrößerung mit der Oeffnung des Objectives wachſen muß. Darum verträgt jedes Fernrohr mit einem beſtimmten Objective nur eine gewiſſe Vergrößerung.

Die vorzüglichſten Fernröhre ſind ohne Zweifel bis jetzt von Fraunhofer und von Plößl verfertigt worden.

369. Zur Prüfung eines Fernrohres auf Deutlichkeit und Klarheit taugen vorzüglich Objecte, die leuchtend auf dunklem Grunde erſcheinen, mithin vorzüglich Himmelskörper zur Nachtszeit, wohl auch weiße Puncte oder Scheibchen auf ſchwarzem Grunde bei hinreichender Tageshelle. Ihr Bild muß rein und ſcharf begrenzt erſcheinen, es mag in der Mitte des Geſichtsfeldes oder am Rande desſelben ſich befinden. Uebrigens ſoll ein gutes Fernrohr ſo beſchaffen ſeyn, daß man durch jeden Punct des Objectives das Ocular ſieht, erſteres ſoll frei von Wellen ſeyn, wenigſtens nicht viele Blaſen haben und keine Farbenringe zeigen. Die Größe des Geſichtsfeldes wird erkannt, wenn man den Geſichtswinkel des Gegenſtandes beſtimmt, den man auf einmal überſieht. Um die Vergrößerungszahl zu finden, ſieht man auf einen in gleiche Theile getheilten Gegenſtand durch das Fernrohr und zugleich mit freiem Auge, und ſchätzt, wie viele der mit freiem Auge geſehenen Theile auf einen Theil, wie er durch das Fernrohr erſcheint, fallen. Man wendet da mit Vortheil ein ähnliches Verfahren an, wie bei Mikroſkopen (354), indem man die Größe des Bildes einer in beſtimmter Entfernung mit freiem Auge geſehenen Linie mit dem derſelben Linie, durch das Fernrohr in gleicher Entfernung geſehen, vergleicht (Jacquin in Zeitſchr. 2. 101). Endlich ſchließt man nicht ſelten aus der Größe der Lichtſcheibe, welche am Oculare bei voller Beleuchtung des Objectivs oder eines durch einen Schirm beſtimmten Theiles deſſelben erſcheint, indem man letzteren durch erſtere theilt. Zum Meſſen dieſer Größe hat man eigene Inſtrumente. (Ramsden's Dynamometer oder Auzometer.)

Die Theorie des Dynamometers beruht auf einer allgemeinen Eigenſchaft jeder Zuſammenſtellung von Linſengläſern zu einem Fernrohre, die wir hier aus einander ſetzen wollen, wobei wir jedoch den Fall zum Grunde legen, daß ſämmtliche Linſen Sammellinſen ſeyen und die Strahlen bei jeder derſelben divergirend ein- und convergirend austreten, da jeder andere Fall bloß eine Aenderung des Zeichens der Brennweite, der Entfernung des Gegenſtandes, oder des Abſtandes des Bildes von der Linſe mit ſich führt. Es ſeyen Fig. 365, A, A', A'', A''' die Mittelpuncte der Linſen, HK das Bild, welches ein ſehr entfernter Gegenſtand mittelſt der erſten Linſe A in ihrer Brennweite gibt; H'K' das Bild dieſes Bildes mittelſt der zweiten Linſe A'; H''K'' das Bild von H'K' mittelſt der Linſe A'', welches mittelſt der Linſe A''', in deren Brennweite es ſich befinde, von einem weitſichtigen Auge betrachtet werde. Bezeichnen wir die Winkel, welche die den Bildern K, K', K'' eines außerhalb der Are AA''' befindlichen Punctes des Gegenſtandes entſprechenden Hauptſtrahlen AK, KK', K'K'', K''A''' mit der Are machen, der Reihe nach durch ψ, ψ', ψ'', ψ''' und die Vergrößerungszahl durch m, ſo iſt $m = \frac{\psi'''}{\psi}$. Es ſey

$$AH = \alpha,\ A'H' = \alpha',\ A''H'' = \alpha'' \text{ und}$$
$$HA' = a',\ H'A'' = a'',\ H''A''' = a''',$$

ſo iſt wegen der Kleinheit der Winkel ψ, ψ', ψ'', ψ''' (vergl. 360)

$$\frac{\psi'}{\psi} = \frac{\alpha}{a'},\ \frac{\psi''}{\psi'} = \frac{\alpha'}{a''},\ \frac{\psi'''}{\psi''} = \frac{\alpha''}{a'''}.$$

Das Product dieſer Ausdrücke gibt

$$m = \frac{\alpha \alpha' \alpha''}{a' a'' a'''}.$$

Nun ſey MN (Fig. 366) ein in geringer Entfernung von der Linſe A aufgeſtellter Gegenſtand, M′N′, M″N″, M‴N‴, $M^{IV}N^{IV}$ die Reihe der demſelben in Bezug auf die Linſen A, A′, A″, A‴ entſprechenden Bilder, und

$$MA = b,\ M'A' = b',\ M''A'' = b'',\ M'''A''' = b'''$$
$$AM' = \beta,\ A'M'' = \beta',\ A''M''' = \beta'',\ A'''M^{IV} = \beta''';$$

ſetzen wir ferner den Quotienten $\frac{MN}{M^{IV}N^{IV}} = \mu$, ſo iſt wegen

$$\frac{MN}{M'N'} = \frac{b}{\beta},\ \frac{M'N'}{M''N''} = \frac{b'}{\beta'},\ \frac{M''N''}{M'''N'''} = \frac{b''}{\beta''},\ \frac{M'''N'''}{M^{IV}N^{IV}} = \frac{b'''}{\beta'''}$$

wenn man das Product dieſer Ausdrücke bildet,

$$\mu = \frac{b\,b'\,b''\,b'''}{\beta\,\beta'\,\beta''\,\beta'''}.$$

Nun läßt ſich leicht zeigen, daß, wenn die Stellung der Linſen im zweiten Falle genau dieſelbe iſt, wie im erſten, die numeriſchen Werthe der Zahlen m und μ einander gleich ſind. Es iſt nämlich offenbar

$$\frac{m}{\mu} = \frac{\alpha\beta\,.\,\alpha'\beta'\,.\,\alpha''\beta''\,.\,\beta'''}{b\,.\,a'b'\,.\,a''b''\,.\,a'''b'''}.$$

Nennen wir die Brennweiten der Linſen A, A′, A″, A‴ der Reihe nach p, p′, p″, p‴, ſo beſtehen folgende Gleichungen:

$\alpha = p$	$\frac{1}{b} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{p}$
$\frac{1}{a'} + \frac{1}{\alpha'} = \frac{1}{p'}$	$\frac{1}{b'} + \frac{1}{\beta'} = \frac{1}{p'}$
$\frac{1}{a''} + \frac{1}{\alpha''} = \frac{1}{p''}$	$\frac{1}{b''} + \frac{1}{\beta''} = \frac{1}{p''}$
$a''' = p'''$	$\frac{1}{b'''} + \frac{1}{\beta'''} = \frac{1}{p'''}.$

Es iſt demnach

$$\frac{1}{b} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\alpha} \text{ folglich } \frac{1}{b} = \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\beta} = \frac{\beta - \alpha}{\alpha\beta} \text{ und } \frac{\alpha\beta}{b} = \beta - \alpha;$$

ferner iſt $\frac{1}{b'} + \frac{1}{\beta'} = \frac{1}{a'} + \frac{1}{\alpha'}$, folglich

$$\frac{1}{b'} - \frac{1}{a'} = \frac{1}{\alpha'} - \frac{1}{\beta'};\ \frac{a' - b'}{a'b'} = \frac{\beta' - \alpha'}{\alpha'\beta'},$$

daher $\frac{\alpha'\beta'}{a'b'} = \frac{\beta' - \alpha'}{a' - b'}$. Eben ſo findet man

$$\frac{\alpha''\beta''}{a''b''} = \frac{\beta'' - \alpha''}{a'' - b''} \text{ und } \frac{\beta'''}{a'''b'''} = \frac{1}{b''' - a'''}.$$

Hieraus folgt $\frac{m}{\mu} = -\frac{(\beta - \alpha)(\beta' - \alpha')(\beta'' - \alpha'')}{(a' - b')(a'' - b'')(a''' - b''')}$.

Aber wegen der gleichen Abſtände der gleichnamigen Linſen in beiden Fällen iſt

$$\alpha + a' = \beta + b',\ \alpha' + a'' = \beta' + b'',\ \alpha'' + a''' = \beta'' + b''',$$

mithin

$$a' - b' = \beta - \alpha,\ a'' - b'' = \beta' - \alpha',\ a''' - b''' = \beta'' - \alpha'',$$

daher $\frac{m}{\mu} = -1$ oder $m = -\mu$.

Der Gegenſatz der Zeichen kommt bloß von der entgegengeſetzten Lage der Bilder in beiden Fällen her. Die Gleichheit der Zahlwerthe von m und μ beſteht auch dann noch, wenn man b unendlich klein annimmt, d. h. wenn das Object MN mit der Linſe A zuſammenfällt, oder dieſe Linſe oder ein beſtimmter Theil derſelben ſelbſt iſt, wie es der Gebrauch des Auzometers mit ſich bringt. So wie hier der Beweis der Gleichheit der Werthe von m und μ für vier Linſen gegeben wurde, läßt er ſich für jede andere Anzahl von Linſen führen.

370. Die dioptriſchen Inſtrumente haben ſchon wegen ihrer bequemeren Einrichtung und ihrer größeren Dauer vor den katoptriſchen einen großen Vorzug; ſollen ſie aber in ſehr großem Maßſtabe verfertiget werden, ſo findet man ein bis jetzt unüberſteigliches Hinderniß an der Schwierigkeit, große homogene Glasſtücke zu erhalten, während große Hohlſpiegel ohne Vergleich leichter zu haben ſind. Amici und Herſchel d. j. haben eine Vergleichung zwiſchen einem guten katoptriſchen und einem dioptriſchen Inſtrumente angeſtellt. Nach Amici leiſtet ein achromatiſches Fernrohr mit der Oeffnung 1 dasſelbe, was ein katoptriſches mit der Oeffnung $1\frac{1}{3}$ leiſtet. Nach Herſchel iſt dieſes Verhältniß 5:6, wenn das katoptriſche nur einen Spiegel hat, hingegen 7:10, wenn es mit zwei Spiegeln verſehen iſt.

Von den optiſchen Inſtrumenten handeln: Klügel's Dioptrik. Leipzig, 1778. S. 158--251. Practiſche Dioptrik, von J. J. Prechtl. Wien, 1828. Littrow's mathematiſche Abhandlungen über Objective und Oculare zu Fernröhren, in Zeitſchr. 3. 129. 283; 4. 17, 195. Littrow's Dioptrik. Wien, 1830. *Teorica degli stromenti ottici di J. Santini. 2 Tom. Padova*, 1828.

Ueber die Lehre vom Lichte als objectiven Grund des Sehens überhaupt ſiehe: *Newtoni optica. Lond.* 1729. 4. Smith, vollſtändiger Lehrbegriff der Optik. Leipzig, 1755. 4. *R. Boscovich opera pertinentia ad opticam et astronomiam. Bassano* 1785. Prieſtley's Geſchichte der Optik. Leipzig, 1776. 4. *Nuovo trattato d'ottica di L. Nobili. Milano* 1820. 8. *An elementary treatise on Optics by Coddington. Cambridge* 1823. 8. *Herschel on light. London* 1830. *Optics by Dr. Brewster. London* 1831. Schmidt's Optik, herausgegeben von Goldſchmidt. Göttingen, 1834. *Airy, Mathematical Tracts. Cambridge* 1831, hierin die Abhandlung *On the Undulatory theory of Optics.* Kunzek, die Lehre vom Lichte. Lemberg, 1836. Handbuch der Optik von Radicke. Berlin, 1839. Dove's Repertorium, 3. Bd. Gehler's Wörterbuch unter verſchiedenen Artikeln. Ueber die mathematiſche Darſtellung der Undulationstheorie ſind die neueren Abhandlungen von Cauchy in deſſen *Exercices d'Analyse et de Physique mathématique* vorzüglich wichtig. Da dieſe Theorie der Lichterſcheinungen ſich lediglich auf die Geſetze der ſchwingenden Bewegung gründet, ſo iſt begreiflich, daß ihre weitere Ausbildung nicht ſowohl von neuen Erfahrungen, als von den Fortſchritten der theoretiſchen Mechanik abhängt, die ihrerſeits wieder zum Theil durch jene der mathematiſchen Analyſis bedingt werden. Die raſchen Fortſchritte auf dieſem Felde in unſeren Tagen laſſen erwarten, daß auch die bis jetzt noch weniger aufgeklärten Gegenſtände bald ins Reine gebracht werden dürften. Hieher gehören insbeſondere die Erſcheinungen der Abſorption des Lichtes, warum in gewiſſen Körpern nur gewiſſe farbige Strahlen fortgepflanzt werden u. dgl., wofür auf theoretiſchem Wege bereits von Wrede und

Cauchy Bedeutendes geleiſtet worden iſt (ſ. Pogg. Ann. 33. 353; 39. 40). Ferner der Zuſammenhang zwiſchen den Körpertheilchen und jenen des Aethers u. dgl., worüber Lamé und Lloyd Unterſuchungen angeſtellt haben.

Eilftes Kapitel.

Chemiſche Wirkungen des Lichtes.

371. Es iſt bereits am Eingange dieſes Abſchnittes angedeutet worden, daß das Licht nicht bloß zur Sichtbarmachung der Gegenſtände diene, ſondern mannigfaltige chemiſche und phyſiologiſche Wirkungen hervorbringe. Nur von den erſteren, welche namentlich durch die in neueſter Zeit gemachten glänzenden photographiſchen Entdeckungen ein beſonderes Intereſſe erlangt haben, kann hier näher gehandelt werden.

Den Einfluß des Lichtes auf das Gedeihen der organiſchen Welt bethätigen viele Erſcheinungen. Menſchen, welche fortwährend in dunklen Oertern wohnen, büßen alle Lebensfülle und das Roth der Geſundheit ein; in Zimmern, Kellern u. ſ. w. gezogene Pflanzen wenden ſich ſtets nach der lichteren Seite, und bilden ſogar Knie, um dem Lichte zu begegnen; viele Pflanzen verlieren die ſchöne grüne Farbe, wenn man ſie mit undurchſichtigen Körpern bedeckt; unter dem Einfluſſe des Sonnenlichtes allein zerlegen die Blätter und andere Pflanzentheile die aus der Luft oder aus dem Waſſer aufgenommene Kohlenſäure, eignen ſich den Kohlenſtoff an und entwickeln Sauerſtoffgas, während ſie im Finſtern die Kohlenſäure unverändert von ſich geben; das herrliche Farbenſpiel der im tropiſchen Himmelsſtriche wachſenden Pflanzen ſteht gleichfalls mit dem intenſiveren Sonnenlichte im Zuſammenhange.

372. Das Licht vermag ſowohl Verbindungen, wie auch Trennungen der Stoffe einzuleiten. Im Allgemeinen befördert es die Verbindung des Waſſerſtoffes mit den Haloiden, und die Trennung letzterer, wie auch des Sauerſtoffes von den Metallen. So wirken Chlor und Waſſerſtoff im Dunkeln nicht auf einander. Chlorflüſſigkeit, durch Abſorption von Chlorgas in Waſſer bereitet, hält ſich nur im Dunkeln; im Lichte wird das Waſſer zerlegt, der Waſſerſtoff deſſelben bildet mit dem Chlor Salzſäure und der Sauerſtoff entweicht. Setzt man ein Gemenge von trockenem Chlor- und Waſſerſtoffgas dem Tageslichte aus, ſo geht die Verbindung beider Stoffe langſam vor ſich; im Sonnenlichte aber erfolgt die Verbindung unter heftiger Exploſion. Die Salpeterſäure wird im Sonnenlichte unter Ausſcheidung von Sauerſtoff in ſalpetrige Säure umgewandelt, und färbt ſich daher gelb, endlich roth. Gold trennt ſich im Sonnenlichte von den Stoffen, mit denen es verbunden iſt, theils in metalliſcher Geſtalt, theils als niederes Oxyd; insbeſondere ſind in dieſer Hinſicht die Verbindungen des Silbers mit Jod, Chlor, Brom und andern Stoffen ausgezeichnet, welche durch den Einfluß des Lichtes zerlegt werden, was eine Umwandlung der lichten Farbe der mit Löſungen dieſer Körper beſtrichenen weißen Papiere in dunkle Farbentöne bewirkt. Da dieß nur an den

Stellen geſchieht, wohin Licht kommt, und zwar nach Maßgabe ſeiner Intenſität, ſo daß die genannte Wirkung, wie Arago's Verſuche lehrten, an den dunklen Stellen eines Interferenzſpectrums wegfällt, ſo kann dieſelbe nur dem Lichte als ſolchem zugeſchrieben werden. Doch muß man ſich hüthen, jene Wirkungeu des Sonnenlichtes, welche auf Rechnung ſeiner erwärmenden Kraft kommen, als primäre Wirkungen des Lichtes anzuſehen. Die durch das Licht bewirkten chemiſchen Erſcheinungen werden, wie Edmund Becquerel wahrgenommen hat, von elektriſchen Effecten begleitet.

Ueber die chemiſchen Wirkungen des Lichtes von Suckow. Darmſtadt, 1832. Landgrebe, über die chemiſchen und phyſiologiſchen Wirkungen des Lichtes. Marburg, 1834.

373. Die chemiſchen Wirkungen des Lichtes haben neueſtens eine intereſſante und keineswegs unwichtige Anwendung auf die Erzeugung der ſogenannten Lichtbilder gefunden. Obgleich die Idee dazu ſich bald, nachdem man die Verdunklung des Chlorſilbers im Sonnenlichte wahrgenommen hatte, darbot, ſo haben doch erſt die Verſuche von Niepce und Daguerre einerſeits und die von Talbot andererſeits der neuen Kunſt, welche am ſchicklichſten Photographie genannt wird, die Bahn gebrochen. Die Hauptleiſtung dieſer Kunſt iſt die Fixirung der Bilder der Camera obſcura auf einem Schirme, deſſen Oberfläche für die Einwirkung des Lichtes hinreichend empfindlich iſt, um eine Veränderung zu erfahren, die ſich durch entſprechende Manipulationen ſichtbar machen und bleibend erhalten läßt. Eine untergeordnete Leiſtung iſt das Copiren von Zeichnungen, Kupferſtichen, Lithographien, die auf hinreichend durchſcheinendem Stoffe, als Glas, Papier u. dgl. gemacht ſind, um eine unmittelbare Uebertragung auf den photographiſchen Stoff im Sonnenlichte zu geſtatten. Die bis jetzt erhaltenen Bilder ſtellen nicht, wie die Werke der Malerei, die natürlichen Farben der Gegenſtände dar, ſondern ſind nur den Bleiſtift- oder Federzeichnungen, Kupferſtichen, Lithographien, überhaupt den mit gleichartigem Colorit ausgeführten Darſtellungen vergleichbar, welche bloß die Umriſſe der Gegenſtände und die Grade ihrer Helligkeit oder die Art der Beleuchtung nachahmen. An einem photographiſchen Bilde haben entweder die einzelnen Theile dieſelbe Lage, wie am abgebildeten Gegenſtande, oder es iſt dieſe Lage im Verhältniſſe von Rechts zu Links umgekehrt, ſo wie das Bild in einem ebenen Spiegel, oder der Abdruck einer Kupferplatte gegen die Zeichnung auf der Platte ſelbſt erſcheint. Man kann Bilder von der erſteren Art directe, die von der letzteren inverſe nennen. Ferner zeigen ſich entweder die lichteren Stellen am Originale im photographiſchen Bilde gleichfalls durch lichtere, die dunklen Stellen oder Schatten am Originale durch dunkle Abſtufungen im Bilde repräſentirt, oder es findet gerade das Gegentheil Statt, die Lichter an dem Originale ſind im Bilde durch dunkle, die Schatten am Originale durch helle Farbentöne im Bilde gegeben. Man kann die in der ſo eben genannten Beziehung naturgetreuen Bilder poſitive nennen, im Gegenſatze mit denjenigen, wo Lichter und

Schatten verwechſelt ſind, welche **negative** Bilder heißen mögen. Was die photographiſchen Verfahrungsweiſen ſelbſt betrifft, ſo laſſen ſie ſich nach ihren Urhebern unter zwei Rubriken bringen, welche wir durch die Benennungen **Daguerre**'ſche und **Talbot**'ſche Methode von einander unterſcheiden wollen.

374. Das Material, worauf nach der **Daguerre**'ſchen Methode (Daguerreotypie) die Lichtbilder dargeſtellt werden, iſt ein Metall, am beſten Silber. Man bedient ſich dazu einer plattirten, d. i. mit einer Silberſchichte bekleideten Kupferplatte. Dieſe muß eine glatte, gleichförmige, von Riſſen oder Furchen freie Oberfläche haben. Man reinigt die Silberfläche auf das Sorgfältigſte, indem man ſie anfänglich mit Oehl und fein gepulvertem Tripel, dann aber abwechſelnd mit ſehr verdünnter Salpeterſäure und Tripel unter Anwendung von reiner Baumwolle vorſichtig polirt. Unmittelbar vor Anfertigung des Lichtbildes wird die Silberfläche an einem dunklen Orte in einen Kaſten gebracht, auf deſſen Boden ſich Jod befindet, und ſo lange den Dämpfen dieſes Stoffes ausgeſetzt, bis die Silberfläche eine tief goldgelbe Färbung angenommen hat. So vorgerichtet ſetzt man die vor jeder fremdartigen Einwirkung des Lichtes geſchützte Platte in die ſchon vorher gehörig aufgeſtellte Camera obſcura, genau an den Platz des matten Glaſes, worauf das Bild des darzuſtellenden Gegenſtandes fiel. Nach einer Zeit, die nach Maßgabe der Größe der Oeffnung, durch welche das Licht in die Camera obſcura tritt, der Brennweite der Linſe und der Stärke der Beleuchtung des Gegenſtandes ſehr verſchieden ſeyn kann, und der Beurtheilung des Experimentators anheim geſtellt bleibt, wird die Platte aus der Camera obſcura genommen. Auf der polirten Fläche iſt jetzt noch keine Spur eines Bildes zu ſehen; wäre dieß der Fall, ſo hätte die Einwirkung des Lichtes auf ſelbe in der Camera obſcura zu lange gedauert. Bringt man aber die Platte in einen Kaſten, auf deſſen Boden ſich etwas Queckſilber befindet, das man bis zu der Temperatur von 65° — 70° C. erwärmt, ſo erſcheint nach wenigen Minuten das Bild. Iſt dieſes gehörig ausgeprägt, ſo wird die Platte in eine Löſung von unterſchwefligſaurem Natron in Waſſer, oder in Ermanglung dieſes Salzes in eine, jedoch ſiedendheiße, geſättigte Kochſalzlöſung gelegt, worauf der gelbe Ueberzug der Silberfläche, welcher dem Lichte ausgeſetzt ſich verändert und zuletzt das Bild unkenntlich gemacht haben würde, verſchwindet. Nun wird die Silberfläche noch mit heißem deſtillirten Waſſer abgeſpült und das Bild iſt vollendet. Die Zeichnung auf ſelbem, welche bei Anwendung einer guten Camera obſcura eine Erſtaunen erregende Feinheit der Details enthält, wird durch äußerſt kleine Queckſilberpartikel gebildet, die an den Stellen des Bildes, welche der ſtärkſten Beleuchtung entſprechen, am dichteſten an einander gehäuft ſind. So genommen iſt das Bild im Grunde ein negatives, was man auch deutlich wahrnimmt, wenn man es in einer ſchiefen Richtung gegen das Licht hin betrachtet, ſo daß das Auge ſich in der von der Platte reflectirten Lichtmaſſe befindet. Steht aber das Auge außer dieſer Lichtmaſſe, ſo erſcheint die nackte Silberfläche in um

ſo tieferem Schwarz, je mehr ſie ſich ihrer Politur nach einem vollkommenen Spiegel nähert, während nur die Queckſilbertheilchen allein ſeitwärts Licht ſenden, indem ſie gleichſam die Rolle von Rauhigkeiten auf der polirten Fläche ſpielen, die das Licht nach allen Seiten zerſtreuen. Somit werden die hellen Partien des Gegenſtandes auf dem Bilde durch die hell erſcheinende Anhäufung des Queckſilbers gegeben, und man ſieht ſonach ein poſitives Bild.

Seit der Bekanntmachung des Daguerre'ſchen Verfahrens (im Sommer 1839) ſind bereits Einzelnheiten desſelben zweckmäßig abgeändert worden. Statt des Jods in feſter Form wendet man nach Aſcherſon eine Löſung von Jod in ſchwachem Weingeiſte an, welche man noch mit Waſſer mengt; zur Wegſchaffung des unveränderten Jodſilbers nach der Expoſition der Platte in den Queckſilberdämpfen kann auch kalte Kochſalzlöſung dienen, wenn man nach Draper die darein gelegte Platte mit einem Zinkſtäbchen berührt. Die wichtigſten Modificationen betreffen aber die Erhöhung der Empfindlichkeit der Platte dadurch, daß man der Jodflüſſigkeit etwas Brom zuſetzt, oder eine Verbindung von Jod mit Chlor ſtatt reinen Jods anwendet, wie Kratochwila in Wien zuerſt gewieſen hat. Bemerkenswerth iſt noch die von den Gebrüdern Natterer in Wien wahrgenommene außerordentliche Empfindlichkeit einer gelb jodirten Platte, nachdem ſelbe einige Augenblicke über ſchwaches Chlorwaſſer gehalten wurde, bis ſelbe eine röthliche Färbung angenommen hat. Durch derlei Modificationen in Verbindung mit der Erhöhung der Lichtſtärke der Camera obſcura durch die von Prof. Petzval berechneten zuſammengeſetzten Objective, welche eine viel größere Oeffnung, als einfache oder gewöhnliche achromatiſche Linſen geſtatten, ohne der Schärfe des Bildes Eintrag zu thun, wurde es möglich, die zur gehörigen Einwirkung des Lichtes nöthige Zeit auf wenige Secunden zu reduciren und Probleme zu löſen, welche von dieſer Vervollkommnung weſentlich abhängen, z. B. die Zuſtandebringung von Porträten, überhaupt die Darſtellung von Gegenſtänden, welche in einem Zuſtande der Veränderung begriffen ſind u. dgl. Rechnet man hiezu die viel verſprechenden Verſuche von Prof. Berres in Wien, die Lichtbilder durch zweckmäßige Aetzmittel zum Kupferdrucke tauglich zu machen, und die glücklichen Reſultate, welche man bereits in der Vervielfältigung ähnlicher Gebilde auf galvanoplaſtiſchem Wege erhalten hat, ſo dürfte die Hoffnung einer künftigen ernſthaften techniſchen Anwendung der noch ſo jungen Kunſt nicht ungegründet erſcheinen.

375. Talbot's Methode gründet ſich auf den Gebrauch eines beſonders zubereiteten, für das Licht ſehr empſindlichen Papieres, welches er kalotypes Papier nennt. Es wird nämlich gutes Schreibpapier mit einer ſchwachen Löſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd in Waſſer (100 Gr. Salz in 12 Loth Waſſer) auf einer Seite beſtrichen, getrocknet, ſodann in eine wäſſerige Löſung von Jodkalium (500 Gr. in 30 Loth deſtillirtem Waſſer) getaucht und wieder getrocknet, nachdem es zuvor durch gewöhnliches Waſſer gezogen worden. Dieß Papier nennt Talbot »jodirtes« Papier. Es wird vor dem Lichte geſchützt aufbewahrt. Zum photographiſchen Gebrauche wird es in einem finſtern Orte mit einer Mengung gleicher Raumtheile zweier Flüſſigkeiten, nämlich einer Löſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd (100 Gr.

in 4 Loth deſtillirtem Waſſer), der man concentrirte Eſſigſäure (den ſechsten Theil des Volums) zugeſetzt hat, und einer geſättigten Löſung von Gallusſäure überſtrichen. Dieſe Mengung wird, da die Flüſſigkeiten auf einander einwirken, nur in geringer Quantität, ſo wie es der Gebrauch fordert, vorgenommen. Das ſo zubereitete Papier iſt das kalotype Papier, und muß alſogleich verwendet werden. Nach kurzer Einwirkung des Lichtes ſieht man auf ſelbem keine oder nur eine ſchwache Spur des Bildes; dasſelbe tritt aber kräftig hervor, wenn man das Papier noch einmal mit vorgenannter Mengung überſtreicht und hierauf gelinde erwärmt. Zur Fixirung des Bildes wird es mit einer Löſung von Bromkalium (100 Gr. in 16 — 20 Loth Waſſer) behandelt. Dies Bild iſt ein negatives. Um ein poſitives Bild zu erhalten, wird es noch einmal übertragen, indem man es auf ein ähnliches Papier zwiſchen zwei Glasplatten legt und dem Sonnenlichte ausſetzt. War das Bild, wie es die Camera obſcura ohne Spiegel gibt, ein inverſes, ſo wird die Copie zugleich direct. (*Phil. Mag.* 19. 164.)

Minder empfindlich als das kalotype ſind die gewöhnlichen photographiſchen Papiere. Unter dieſen ſteht das Bromſilberpapier oben an; nach ihm folgt das Chlorſilberpapier. Man erhält ſelbe, wenn man ein gutes Schreibpapier zuerſt mit einer ſchwachen Löſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd überſtreicht und ſodann mit einer Bromkalium- oder mit einer Kochſalzlöſung, oder auch mit letzterer Salzlöſung zuerſt und dann mit der Löſung des Silberſalzes. Solches Papier kann auch zum Copiren der auf kalotypem Papiere erzeugten Bilder ſtatt eines andern kalotypen, und zwar wie Talbot angibt, noch mit größerem Vortheile für die Schönheit der Bilder angewendet werden. Die Talbot'ſche Methode iſt, in ſofern es ſich um reine Bilder handelt, bei Weitem ſchwieriger auszuführen, als die Daguerre'ſche, auch bieten die nach ſelber erhaltenen Bilder keine ſolche Feinheit der Details dar.

376. Sehr bemerkenswerth iſt es, daß nicht alle das weiße Licht zuſammenſetzenden farbigen Strahlen eine gleiche Fähigkeit beſitzen, chemiſche Wirkungen hervorzubringen. Dieß hat ſchon Scheele beobachtet, und alle ſpäteren Verſuche haben die Richtigkeit dieſer Beobachtung auf das Augenſcheinlichſte beſtätiget. Rothes Licht wirkt nämlich auf ein photographiſches Papier, welches früher noch von keinem andern Lichte getroffen wurde, ſo gut wie gar nicht, eben ſo wenig auf ein Gemenge von Chlorgas und Waſſerſtoffgas; kaum merklicher iſt die Wirkung des gelben Lichtes; erſt grünlichblaues Licht bringt eine merkliche Wirkung hervor; die Fähigkeit, chemiſche Veränderungen hervorzurufen, kommt vorzugsweiſe nur dem blauen und violetten Ende des Spectrums zu, ja ſie zeigt ſich ſogar außerhalb dieſer Grenze, ſo daß man genöthigt iſt, die Exiſtenz von Strahlen im weißen Lichte anzunehmen, die unſer Auge nicht afficiren, aber chemiſche Effecte hervorzubringen vermögen, und brechbarer ſind als die violetten Strahlen. Man kann ſie chemiſche Strahlen nennen. Gefärbte Gläſer hemmen die chemiſche Wirkung des Lichtes in dem Maße, in welchem ſie die brechbareren Strahlen abſorbiren. Höchſt merkwürdig iſt die Entdeckung von Edmund Becquerel, daß

rothe und gelbe Strahlen, welche Bromſilberpapier, das noch von keinem Lichte getroffen worden, nicht afficiren, eine ſichtliche Wirkung zur Folge haben, ſobald dies Papier nur wenige Augenblicke dem Tageslichte ausgeſetzt war, mithin gleichſam den von den wirkſamen Strahlen begonnenen Effect fortſetzen. (Pogg. Ann. 54. 43.)

Aus dem Umſtande, daß nicht alle Lichtſtrahlen in chemiſcher Hinſicht gleich wirkſam ſind, folgt, daß die Lichtbilder in Hinſicht auf Licht und Schatten nicht vollkommen naturgetreu ſeyn können. Auffallend iſt die Unempfindlichkeit der Daguerre'ſchen Platten und der photographiſchen Papiere in der Camera obſcura für das Grün der Blätter der Pflanzen, was offenbar darin ſeinen Grund hat, daß dieſelben vorzugsweiſe die chemiſchen Strahlen im Sonnenlichte zum Behufe des Zerlegungsproceſſes der Kohlenſäure als einer Function ihres organiſchen Lebens abſorbiren, und ſomit ſehr wenige derſelben reflectiren. Auch auf die Richtigkeit der Porträte hat die ungleiche chemiſche Kraft der farbigen Strahlen einigen Einfluß. In ſofern chemiſch minder wirkſame Strahlen einen vorangegangenen Effect wirkſamer Strahlen fortzuſetzen vermögen, wäre es räthlich, bei photographiſchen Verſuchen die jodirte Platte nicht zu ſorgfältig vor dem Lichte zu bewahren.

Vierter Abſchnitt.

Wärme.

Erſtes Kapitel.

Von der Wärme überhaupt.

377. Die bisher beſprochenen Kräfte und Agentien reichen nicht aus, um alle in der Natur vorkommenden Erſcheinungen zu erklären, und wir ſind insbeſondere genöthiget, zu den drei bereits betrachteten ſogenannten Imponderabilien, Magnetismus, Elektricität und Licht noch ein viertes, nämlich das Wärmeprincip anzunehmen.

Es war im vorhergehenden Theile dieſes Werkes ſchon mehrmal die Rede von Wirkungen der Erwärmung und Erkältung, und es ſind als ſolche Aenderung des Rauminhaltes und des Aggregationszuſtandes der Körper und Erregung einer eigenthümlichen Empfindung, die der Wärme und Kälte, bezeichnet worden. Letztere können ſehr wohl als Folge der vorhergegangenen Ausdehnung und Zuſammenziehung der Gefühlsorgane betrachtet werden, und es bleiben daher nur die erſteren als unmittelbare objective Effecte der Erwärmung und Erkältung übrig. Näher betrachtet erkennt man dieſe leicht als bloße Veränderungen in der Stellung und gegenſeitigen Entfernung der kleinſten Körpertheile, und es erſcheint ſonach das Wärmeprincip, von dieſer Seite angeſehen, als eine der Molecularanziehung entgegenwirkende, abſtoßende Kraft. Es haben ſich in der That einige Phyſiker dadurch veranlaßt gefunden, das Wärmeprincip als bloße abſtoßende Kraft zu betrachten. Andere, welche dieſe Hypotheſe zur Erklärung der Wärmeerſcheinungen nicht zureichend glaubten, nahmen eine eigenthümliche, feine, in der Natur verbreitete ätheriſche Flüſſigkeit an, die ſie Wärmeſtoff (caloricum) nannten, und von der ſie vorausſetzten, daß ſie ſich mit den Körpern verbinde und durch ihre Ausdehnſamkeit auf ſelbe wirke. In der neueren Zeit hat die große Analogie zwiſchen den Licht- und Wärmeerſcheinungen mehrere Phyſiker zu der ſchon früher aufgeſtellten, aber wieder verlaſſenen Hypotheſe zurückgeführt, vermög welcher die Wärme das Reſultat einer eigenthümlichen vibrirenden Bewegung des Aethers iſt. Wir wollen vor der Hand die Frage über die Natur des Wärmeprincips ganz beſeitigen und es ſchlechtweg Wärme nennen. Wiewohl man mit die-

ſem Worte auch die Empfindung, welche von der Erwärmung herrührt, bezeichnet, ſo beſorgen wir doch keine Verwechslung dieſer zwei Bedeutungen deſſelben Wortes, indem der Sinn jedes Satzes wohl zeigt, ob die eine oder die andere Bedeutung gemeint ſey.

378. Alle Erſcheinungen der Wärme deuten auf ein Beſtreben derſelben hin, ſich ſowohl an den verſchiedenen Theilen deſſelben Körpers, als in einem Syſteme mehrerer Körper ins Gleichgewicht zu ſetzen und ſich demnach von einem materiellen Theilchen zum anderen zu bewegen. Die Geſetze dieſer ihrer Bewegung ſind weſentlich verſchieden, je nachdem ſie die Theile der Körper, durch welche ſie geht, erwärmt oder nicht. Im letzteren Falle erſcheint die Wärme ſtrahlend wie das Licht. Weder die Bewegung noch das Gleichgewicht der Wärme wird bloß durch die Wirkung des Wärmeprincips auf ſich ſelbſt beſtimmt, ſondern beide hängen von dieſer Wirkung und zugleich von der Action der Molekel der Körper auf die Wärme und umgekehrt ab. Darum hat ſowohl auf die Bewegung als auf das Gleichgewicht der Wärme die Natur der betreffenden Körper Einfluß.

379. Die Wärme wird uns beſtändig von außen zugleich mit dem Lichte zugeführt und verläßt uns wieder, indem ſie theils in die Luft übergeht, theils in Strahlen dem Weltraume zugeſendet wird. Man kann ſie durch beſondere Verfahrungsarten hervorrufen und hat demnach verſchiedene Quellen der Wärme, ſo wie man verſchiedene Quellen der Elektricität kennt. Es iſt nicht wahrſcheinlich, daß dabei immer nur die in den Körpern ſchon enthaltene Wärme entwickelt wird, ſondern man hat Grund zu glauben, ſelbe werde bei mehreren ſolchen Erregungsarten wirklich erzeugt.

Zweites Kapitel.

Wärmecapacität und ſpecifiſche Wärme.

380. Jeder Körper enthält unter allen Umſtänden Wärme in ſich und man kennt keinen, der als ganz wärmeleer betrachtet werden könnte. Abſolute Kälte, d. h. gänzlicher Mangel an Wärme ſcheint gar nicht in der Natur zu exiſtiren. Abgeſehen von jeder Vorausſetzung über das Weſen des Wärmeprincipes läßt ſich doch von der Menge der Wärme reden, ja ſogar dieſe ſich auf ein beſtimmtes Maß zurückführen. Obwohl man es als eine klare Sache betrachten darf, daß die Menge der in einem Körper enthaltenen Wärme, bei übrigens durchaus gleichen Umſtänden, von deſſen Maſſe abhängt, und zwar ein Körper bei doppelter Maſſe die zweifache, bei dreifacher Maſſe die dreifache Menge Wärme in ſich faßt; ſo iſt doch der Geſammtbetrag der einem Körper zukommenden Wärme kein unſerer Unterſuchung zugänglicher Gegenſtand, ſondern dieſe bezieht ſich bloß auf die Differenzen des Wärmegehaltes der Körper, d. h. auf die Wärmemengen, welche dieſelben aufnehmen oder abgeben. Zum Meſſen der Wärme kann jeder

Effect dienen, den man als eine reine Wirkung der Wärmemenge an- ſehen und deſſen Größe man dieſer Menge proportional ſetzen darf. Dergleichen Effecte ſind: das Schmelzen einer beſtimmten Menge Eis, die Erhöhung der Temperatur einer beſtimmten Maſſe oder eines be- ſtimmten Volums eines Stoffes um eine feſtgeſetzte Anzahl Grade von einem feſtgeſetzten Puncte angefangen u. dgl. Man braucht da ſich nur über die Maſſe oder das Volum zu verſtändigen, worauf die Wärme- menge, die man als Einheit gelten laſſen will, ſich bezieht, um jede andere Wärmemenge durch eine Zahl ausdrücken zu können. Dieſe Zahl wird dann durch die Maſſe oder das Volum angegeben, woran die zu meſſende Wärmemenge den vorgeſchriebenen Effect hervorbringt. Am einfachſten iſt es, diejenige Wärmemenge = 1 zu ſetzen, welche eine Maſſeneinheit Eis von 0° C. in Waſſer von 0° C zu verwandeln vermag. Dieſer Annahme zu Folge ſind die Wärmemengen 2, 3, 10.. diejenigen, welche 2, 3, 10.. Maſſeneinheiten Eis auf gleiche Weiſe zu ſchmelzen vermögen.

381. Die Erfahrung lehrt, daß wenn an einem Körper keine allzugroßen Temperaturänderungen vor ſich gehen, die dabei ins Spiel tretenden Wärmemengen den Temperaturdifferenzen proportional an- genommen werden können. Dieß vorausgeſetzt heißt die Wärmemenge, welche ein Körper von der Maſſe = 1 oder vom Volum = 1 braucht, um eine Temperaturerhöhung von 1° zu erfahren, ſeine **ſpecifiſche Wärme**, und die Fähigkeit, dieſe Wärme aufzunehmen, ſeine **Wär- mecapacität**. Gewöhnlich wird die ſpecifiſche Wärme und die Capa- cität auf die Maſſe = 1 bezogen, und wenn man ſie auf das Volum = 1 bezieht, pflegt man dieſes ausdrücklich zu erwähnen. Die Ca- pacitäten ſind den ſpecifiſchen Wärmen proportionirt; man nimmt ge- wöhnlich die Capacität des reinen Waſſers als Einheit an, und mißt die der übrigen Körper mit dieſem Maße. Hat daher ein Körper eine 2, 3mal ꝛc. größere Capacität als jene des Waſſers, ſo iſt ſeine Capacität auch gleich 2, 3 ꝛc. Heißt die Capacität eines Körpers C, ſeine ſpe- cifiſche Wärme S, jene des Waſſers σ; ſo hat man $S : \sigma = C : 1$ oder $S = C\sigma$.

382. Die Wärmecapacität feſter und tropfbarer Körper läßt ſich durch mehrere Mittel beſtimmen. Eines der einfachſten beſteht darin, daß man den betreffenden Körper bis zu einem beſtimmten Grade er- hitzt, ihn hierauf in eine beſtimmte Menge Waſſer oder in eine an- dere Flüſſigkeit von bekannter Temperatur ſenkt, und die gemeinſchaft- liche Temperatur des Gemenges beſtimmt, wenn das Gleichgewicht der Wärme hergeſtellt iſt. Es iſt klar, daß der Körper, deſſen Capacität auf dieſem Wege erforſcht werden ſoll, nicht in der Flüſſigkeit, worein man ihn taucht, auflöslich ſeyn und ſich nicht in Berührung mit der- ſelben erhitzen oder erkälten dürfe. Auch iſt nicht zu vergeſſen, daß dieſes Verfahren nur in ſoferne richtig iſt, als ſich die Capacität der Flüſſigkeit nicht mit der Temperatur ändert. Mit voller Sicherheit iſt dieſes nur bei Temperaturen der Fall, deren Differenz nicht gar groß iſt; darum darf auch zwiſchen der Temperatur des betreffenden

Körpers und der Flüſſigkeit, worein man ihn taucht, keine große Differenz Statt finden. Um aber doch bei kleinen Temperaturunterſchieden mit größeren Wärmequantitäten zu thun zu haben, wählt man Körper von großen Maſſen. Ueberdieß muß man auf den Wärmeverluſt durch das Gefäß und die Abkühlung während der Zeit des Verſuches Rückſicht nehmen.

Es werde Waſſer von 0° C. mit einer gleich großen Maſſe Eiſenfeile von 36° vermengt und die Temperatur des Gemenges = 4° gefunden. Da bringt nun die Wärmemenge, welche die Temperatur des Eiſens um 36 — 4 = 32° erhöht, im Waſſer nur eine Temperaturerhöhung von 4° hervor, und Eiſen braucht daher achtmal weniger Wärme als Waſſer, um dieſelbe Temperaturerhöhung zu erfahren, oder ſeine Capacität iſt $\frac{1}{8} = 0{,}125$. Wenn die Maſſen der zwei zu mengenden Körper ungleich ſind, wird man nicht ſo leicht durch bloßes Raiſonnement zum Ziele gelangen, ſondern man muß zu dieſem Ende eine eigene Rechnung führen. Hat der wärmere Körper die Maſſe M, die Capacität C, und vor dem Verſuche die Temperatur T, der kältere die Maſſe m, die Capacität c, und vor dem Verſuche die Temperatur t; iſt ferner die ſtationäre Temperatur des Gemenges nach dem Verſuche τ und die ſpecifiſche Wärme des Waſſers σ: ſo hat der erſtere die Wärmemenge $MC(T-\tau)\sigma$ verloren, der andere die Wärmemenge $mc(\tau-t)\sigma$ gewonnen, und es iſt

$$MC\sigma(T-\tau) = mc\sigma(\tau-t) \text{ oder } \frac{C}{c} = \frac{m(\tau-t)}{M(T-\tau)}.$$

Auf dieſem Wege kann man auch den Werth von σ finden. Man menge eine Quantität Eis = m von der Temperatur 0° C., und eine Waſſermenge M von der Temperatur T, die hinreicht, alles Eis zu ſchmelzen, und bemerke die Temperatur t der Miſchung. Eine Maſſeneinheit Eis braucht zum Schmelzen die Wärmemenge 1, mithin die Eismaſſe m die Wärmemenge m; dem aus Eis entſtandenen Waſſer iſt hier die Wärmemenge $mt\sigma$ zugewachſen, und das urſprünglich vorhandene Waſſer hat die Wärmemenge $M(T-t)\sigma$ verloren. Dieß gibt die Gleichung

$$m + mt\sigma = M(T-t)\sigma, \text{ woraus } \sigma = \frac{m}{M(T-t)-mt}$$

folgt. Der wirkliche Verſuch gibt $\sigma = \frac{1}{75}$.

383. Ein anderes Mittel, die Capacität zu beſtimmen, beruht darauf, daß ein warmer Körper bei übrigens gleichen Umſtänden deſto ſchneller bis zur Temperatur ſeines Mittels abkühlt, je kleiner ſeine Capacität iſt. Um durch dieſes Mittel zu einem richtigen Reſultate zu gelangen, muß man die Körper, um die es ſich handelt, mit gleicher Oberfläche verſehen, und zu dieſem Ende jeden derſelben in ein fein polirtes, metallenes Gehäuſe einſchließen, bis zu einem beſtimmten Grade erwärmen, ihn dann ſammt dem Gehäuſe im luftleeren Raume bis zu einem beſtimmten Grade abkühlen laſſen, und die Zeit beſtimmen, die er dazu braucht. Dieſe Zeit ſteht im geraden Verhältniſſe mit ſeiner Capacität. Dieſes Verfahren hat J. T. Mayer kennen gelehrt, und Dulong und Petit haben es mit Vortheil angewendet; doch gibt es nur für Körper, welche die Wärme leicht abgeben, brauchbare Reſultate.

384. Ein drittes Mittel beruht auf der Beſtimmung der Eismenge,

die ein Körper zu ſchmelzen vermag. Man braucht zu ſeiner practiſchen Ausführung ein eigenes Inſtrument, welches Laplace und Lavoiſier angegeben und Calorimeter genannt haben. Dieſes beſteht aus zwei Gefäßen (Fig. 367), wovon eines in dem anderen ſteckt. Das innere B dient zur Aufnahme des zu unterſuchenden Körpers A und des zu ſchmelzenden Eiſes, während das äußere C bloß zum Behälter desjenigen Eiſes beſtimmt iſt, das den erwärmenden Einfluß der äußeren Umgebung auf das innere Eis abhalten ſoll. Das innere Gefäß hat unten ein kleines Behältniß D, welches mit einem Hahne verſchloſſen und durch ein Sieb vom oberen Theile getrennt iſt; es dient zur Aufnahme des Waſſers, das aus dem inneren Eiſe entſteht. Beim Gebrauche wird zuerſt der Zwiſchenraum zwiſchen beiden Gefäßen mit klein zerſtoßenem Eiſe von 0° C. angefüllt, und auch das Innere faſt ganz damit verſehen. Hierauf kommt der Körper A hinein, und zwar, wenn er feſt iſt, in ein netzartiges Gefäß, wenn er tropfbar iſt, in eine eigens dazu beſtimmte Büchſe; der übrige Raum wird mit Eis erfüllt, der Deckel aufgeſetzt, auch mit Eis belegt, die Zeit abgewartet, bis A die Temperatur 0° C. hat, die vom inneren Eiſe entſtandene Waſſermenge genau beſtimmt und hieraus die Capacität von A berechnet. Iſt C die Capacität des Körpers, mit dem man den Verſuch anſtellt, T ſeine anfängliche Temperatur und M ſeine Maſſe, σ die ſpecifiſche Wärme des Waſſers, ſo iſt $MTC\sigma$ ſeine Wärmemenge. Wird eine Eismaſſe $= N$ von 0° C. geſchmolzen, ſo iſt die Zahl N zugleich die dazu nöthig geweſene Wärmemenge, und man hat demnach

$$MTC\sigma = N \text{ und hieraus } C = \frac{N}{MT\sigma}.$$

Iſt die zu unterſuchende Maſſe in einem Netze oder einer Büchſe enthalten, ſo muß man auch die Wärme, welche der Behälter an das Eis abgibt, in Rechnung bringen. Iſt m die Maſſe dieſes Gefäßes, t ſeine Temperatur, c ſeine Capacität, ferner N′ die ganze von der Maſſe M ſammt dem Gefäße geſchmolzene Eismenge; ſo hat man offenbar

$$\sigma(MCT + mct) = N' \text{ und } C = \frac{N' - mct\sigma}{MT\sigma}.$$

Auch hier kann man σ beſtimmen, indem man $C = 1$ ſetzt; man erhält $\sigma = \frac{N'}{MT - mct}$.

385. Durch dieſe Mittel hat man folgende Geſetze der Capacitäten kennen gelernt: Verſchiedene feſte und tropfbare Körper haben auch verſchiedenen Capacitäten. Mit der Aenderung der Dichte und Cohärenz ändert ſich auch die Capacität. Wenn die Dichte geringer wird, es mag dieſes durch Erhöhung der Temperatur oder durch irgend ein mechaniſches Mittel bewirket werden, ſteigt die Capacität, jedoch immer nur um einen kleinen Theil ihres anfänglichen Werthes. Wenn ein feſter Körper weich zu werden anfängt, erlangt ſeine Capacität einen höheren Werth. Man ſollte wohl füglich die Wärmecapacität immer nur bei einer beſtimmten Dichte und Cohärenz ausdrücken, und jede Zunahme, welche die Verminderung der Dichte und Feſtigkeit be-

gleitet, als Ausdehnungs- und Erweichungswärme beſonders betrachten. Da ſich die Art des Zuſammenhanges der Körpertheile oft plötzlich ſtark ändert, ſo iſt auch eine ſprungweiſe Veränderung der Wärmecapacität begreiflich.

Pouillet (Pogg. Ann. 39. 573) hat die Capacität des Platins für verſchiedene Temperaturen gefunden, wie folgt: bei 100° C. = 0,03350, bei 200° = 0,03392, bei 500° = 0,03518, bei 1000° = 0,03728, bei 1200° = 0,03812. Nach Regnault's, Larive's und Marcet's Verſuchen iſt die Capacität der Kohle deſto geringer, je dichter ſelbe iſt; erſterer fand die Capacität der Holzkohle = 0,24150, der Coak von Cannel-Kohle = 0,20307, des Graphits aus Gasröhren = 0,20360, des Diamants = 0,14687. Letzteren Gelehrten ergab ſich die Capacität der Terpentinöhlkohle 0,1801, der Zuckerkohle 0,1592. Regnault überzeugte ſich, daß gut geſchmiedetes Kupfer durchſchnittlich die Capacität 0,09478, dasſelbe aber gehämmert die Cap. 0,9346, hierauf aber wieder in der Rothglühhitze angelaſſen, die Cap. 0,09486 habe. Blei und Zinn ändern durch Harthämmern nicht ihre Capacität, aber auch nicht ihre Dichte.

386. Eine ſehr merkwürdige Relation hat man zwiſchen dem Atomgewichte der Körper und ihrer ſpecifiſchen Wärme kennen gelernt. Dulong und Petit haben nämlich zuerſt nachgewieſen, daß ſich die ſpecifiſche Wärme der chemiſch einfachen Stoffe verkehrt wie ihre Atomgewichte verhalte und daß demnach das Product aus dem Atomgewichte in die ſpecifiſche Wärme eine conſtante Größe ſey. Neumann und neueſtens Regnault haben dieſes merkwürdige Geſetz noch mehr erweitert, und man kann es als bewieſen anſehen, daß die ſpecifiſchen Gewichte aller zuſammengeſetzten Körper von gleicher atomiſtiſcher und ähnlicher chemiſcher Zuſammenſetzung im verkehrten Verhältniſſe ihrer Atomgewichte ſtehe, oder daß das Product aus ihrem Atomgewichte in ihre ſpecifiſche Wärme für alle ſolche Körper gleich ſey. Dieſes Product iſt offenbar die Wärmemenge, welche ein Atom braucht, um eine Temperaturerhöhung von 1° C. zu erfahren, und man kann demnach ſagen, die Atome aller chemiſch einfachen Stoffe für ſich, und die atomiſtiſch gleich und chemiſch ähnlich zuſammengeſetzten wieder für ſich, enthalten bei gleichen Temperaturen auch gleich viel Wärme. Eine andere ſehr merkwürdige Relation hat Schröder nachgewieſen. Er zeigt, daß die ſpecifiſche Wärme eines zuſammengeſetzten Körpers die Summe der ſpecifiſchen Wärmen ſeiner Beſtandtheile in jenem Condenſationszuſtande ſey, in welchem ſie in dieſer Verbindung vorkommen.

Der Durchſchnittswerth aus dem Producte des Atomgewichtes in die ſpecifiſche Wärme iſt für chemiſch einfache Stoffe, die man im Zuſtande der größten Reinheit unterſuchen konnte, in runder Zahl 41, für Oxyde von der Zuſammenſetzung RO (wo R die Baſe, O den Sauerſtoff bezeichnet) = 72, von der Zuſammenſetzung R_2O_2 = 170, von der Zuſammenſetzung RO_2 = 86; für Schwefelmetalle RS = 74, für R_2S_3 = 191, für RS_2 = 129, für Chlormetalle R_2Cl_2 = 159, für RCl_2 = 117, für RCl_4 = 233; für ſalpeterſaure Salze $N_2O_5 + R_2O$ = 302, für ſchwefelſaure $SO_3 + RO$ = 166, für kohlenſaure $CO_2 + RO$ = 134. Dieſe Zahlen drücken demnach auch die zur Erwärmung eines

Atomes um 1° C. nöthige Wärme aus, jene für eine Waſſermaſſe von dem Gewichte des Sauerſtoffatoms nöthige = 1 geſetzt. Folgende Tabelle enthält mehrere Capacitätsangaben feſter und tropfbarer Körper:

Name.	Capacität.	Name.	Capacität.
Waſſer	1,0000	Queckſilberoxyd . .	0,0518
Kohlenſt. (Diamant) .	0,1469	Bittererde	0,2439
Jod	0,0541	Thonerde (Saphir) .	0,2173
Schwefel	0,2026	Schwefeleiſen . . .	0,1357
Selen	0,0837	Schwefelblei . . .	0,0509
Phosphor zwiſchen		Schwefelzinn . . .	0,0837
0° — 38°	0,1887	Chlornatrium . . .	0,2140
Eiſen	0,1138	Chlorkalium . . .	0,1730
Zink	0,0955	Salpeterſaures Kali .	0,2388
Kupfer	0,0952	» » Natrum	0,2782
Silber	0,0570	Schwefelſaurer Kalk .	0,1966
Blei	0,0314	» » Bittererde	0,2216
Wismuth	0,0308	Kohlenſaures Kali .	0,2162
Antimon	0,0508	» » Natrum	0,2728
Zinn v. Borneo . .	0,0562	Alkohol ſp. G. = 0,817	0,6666
Platin gewalzt . . .	0,0324	Schwefeläther ſp. G.	
Gold	0,0324	= 0,818	0,5433
Queckſilber	0,0333	Olivenöhl	0,4385
Kupferoxyd	0,1420	Terpentinöhl . . .	0,462
Eiſenoxyd	0,1669	Kuhmilch	0,9999

Merkwürdig iſt es, daß das Waſſer unter allen Körpern die größte Capacität hat, die Metalle aber in dieſer Beziehung ſehr tief ſtehen. Queckſilber hat z. B. eine 30mal kleinere Capacität als Waſſer, ein Umſtand, der dieſes Metall zur Anwendung für Thermometer beſonders empfiehlt. Thieriſche Flüſſigkeiten kommen dem Waſſer am nächſten.

387. Die Beſtimmung der Capacität **ausdehnſamer Körper** unterliegt eigenthümlichen Schwierigkeiten, welche darin ihren Grund haben, daß ſolche Körper die Wärme ſo ſchwer annehmen und abgeben und daß man nicht leicht mit großen Maſſen derſelben arbeiten kann. Folgendes Verfahren gilt ſo ziemlich allgemein für das annehmbarſte: Man leitet das gut getrocknete Gas, nachdem man es in einem mit kochendem Waſſer umgebenen Gefäße auf 100° C. gebracht hat, in einem langſamen, gleichförmigen Strome in ein Rohr, das in ſchlangenförmigen Windungen durch einen abgeſchloſſenen Waſſerbehälter geht, und läßt es am anderen Ende des Rohres wieder entweichen. Das Gas erhöht die Temperatur des Waſſers bis zu dem Grade, wo es demſelben eben ſo viel Wärme zuführt, als das Waſſer an die Umgebung abgibt, und bei dieſem Grade bleibt die Temperatur ſtationär. Je mehr Wärme das Gas dem Waſſer zuführt, deſto höher wird dieſe ſtationäre Temperatur ſeyn, und da von verſchiedenen Gaſen bei der Gleichförmigkeit des Stromes in derſelben Zeit gleiche Volume durchſtrömen; ſo werden die Temperaturerhöhungen, welche die Waſſermaſſe erfahren hat, den Wärmemengen proportionirt ſeyn,

welche gleiche Volume verſchiedener Gaſe an dasſelbe abgegeben haben, d. h. ſie werden mit den Capacitäten der Gaſe für gleiche Volume in geradem Verhältniſſe ſtehen. Will man aus dieſen die Verhältniſſe der Capacitäten für gleiche Gewichte finden, ſo braucht man ſie nur mit der Dichte der betreffenden Gaſe zu dividiren. Man kann dieſe Methode auch auf Dämpfe anwenden, wenn man vorläufig dem Kühlwaſſer die Temperatur gibt, bei welcher ſich die Dämpfe gebildet haben und dadurch der Zerſetzung derſelben vorbaut.

388. Durch die eben beſprochene Unterſuchungsmethode erhält man die Verhältnißzahlen der Capacitäten ausdehnſamer Körper. Man legt derſelben in der Regel als Einheit die Capacität der atmoſphäriſchen Luft zum Grunde, und drückt die Capacität der anderen Gaſe und Dämpfe nach dieſer Einheit aus. Um ſie aber an die Capacitäten der feſten und tropfbaren Körper anſchließen zu können, die ſich insgeſammt auf die Capacität des Waſſers als Einheit beziehen, muß man erſt das Verhältniß der Capacität eines Gaſes, z. B. der atmoſphäriſchen Luft, zu Waſſer ausmitteln. Dieſes geſchieht dadurch, daß man eine beſtimmte Quantität atmoſphäriſcher erhitzter Luft durch Waſſer ſtreichen läßt, die letzterem hiedurch zu Theil gewordene Erwärmung ausmittelt, und ſo nach dem Geſetze der Miſchungsmethode die Capacität der Luft gegen Waſſer ſucht.

389. Auf dieſem Wege lernt man die Capacitäten der ausdehnſamen Körper unter dem beim Verſuche obwaltenden Drucke kennen. Experimentirt man bei verſchiedenem Drucke, ſo erfährt man den Einfluß einer größeren oder geringeren Dichte des betreffenden Körpers, aber immer kann ſich dabei der Körper während des Abkühlens zuſammenziehen. Man erfährt daher die Capacität unter einem beſtimmten beſtändigen Druck und bei veränderlichem Volumen. Wäre es thunlich, die Capacität eines Gaſes dadurch auszumitteln, daß man es, in einem Ballone von conſtantem Volumen eingeſchloſſen, ſammt dem Gefäße mit kaltem Waſſer in Berührung brächte und beide eine gemeinſchaftliche Temperatur annehmen ließe, oder daß man durch dasſelbe Eis ſchmelzte, oder endlich es in einem conſtanten Mittel abkühlen ließe; ſo würde man die Capacität bei conſtantem Volumen erfahren. Keine dieſer Unterſuchungsmethoden gibt aber ein hinreichend genaues Reſultat, und man hat kein anderes Mittel, die Capacität eines Gaſes bei conſtantem Volumen auszumitteln, als indem man das Verhältniß dieſer Capacität zu jener unter conſtantem Drucke und veränderlichem Volumen ſucht, woraus dann, da man letztere aus directen Verſuchen kennt, erſtere leicht berechnet werden kann.

Man hat zur Beſtimmung des Verhältniſſes der beiden hier beſprochenen Capacitäten zwei Mittel, und zwar eines, welches auf der bei der Zuſammendrückung des Gaſes Statt findenden Erwärmung beruht, und ein anderes, welches aus der Geſchwindigkeit des Schalles in dieſem Gaſe hergenommen iſt. Erſteres iſt keiner großen Präciſion fähig und wird daher auch hier übergangen; letzteres beruht auf dem Satze, daß

die Geſchwindigkeit des Schalles in gasförmigen Mitteln durch die Formel $v = \sqrt{\left(\frac{E}{D}(1 + \alpha T)\frac{c}{c'}\right)}$ ausgedrückt wird, wo c die Capacität unter conſtantem Druck, c′ die unter conſtanten Volumen ausdrückt, die übrigen Buchſtaben aber die in I. 348 angegebenen Bedeutung haben. Findet man demnach die Schallgeſchwindigkeit entweder durch directe Verſuche oder durch Beobachtung der Tonhöhe einer Gasſäule, ſo man alles zur Berechnung des Werthes von

$$\frac{c}{c'} = \frac{v^2 D}{E(1 + \alpha T)}.$$

390. Durch die nun angegebenen Mittel hat man folgende Geſetze der Capacitäten der Gaſe kennen gelernt: Die chemiſch einfachen Gaſe haben für gleiche Volume und unter conſtantem Drucke eine gleiche Capacität, und zwar dieſelbe wie atmoſphäriſche Luft; die Capacität der zuſammengeſetzten Gaſe iſt von jener der einfachen verſchieden und hat auch für jedes dieſer Gaſe einen beſonderen Werth. Je geringer der Druck iſt, unter welchem ein Gas ſteht, deſto größer iſt ſeine Capacität, doch wächſt letztere nicht in dem Verhältniſſe, in welchem der Druck abnimmt, ſie iſt z. B. für atm. Luft bei dem auf die Hälfte reducirten Drucke nur um $^1/_{10}$ größer, und wird erſt durch 18fache Verdünnung der Luft verdoppelt. Die Capacität für gleiche Gewichte und bei conſtantem Drucke iſt bei verſchiedenen ſowohl einfachen als zuſammengeſetzten Gaſen verſchieden. Die Capacität bei conſtantem Volumen iſt kleiner als die bei conſtantem Drucke, und zwar im Verhältniſſe von 1,42 : 1. Dieſes Verhältniß ſcheint nicht bloß für alle Gaſe zu gelten, ſondern auch von der Temperatur derſelben unabhängig zu ſeyn.

Folgende Tabelle enthält die Zahlenwerthe der Capacitäten mehrerer Gaſe:

Name des Gaſes.	Cap. für gleiche Vol.	Cap. für gleiche Gewichte	
		Luft = 1	Waſſer = 1
Atmoſphäriſche Luft	10000	10000	0,2669
Sauerſtoff	10000	0,9069	0,2421
Waſſerſtoff	10000	14,5348	3,8793
Stickſtoff	10000	1,0318	0,2754
Kohlenoxyd	10000	1,0267	0,2740
Stickſtoffoxydul	1,227	0,8035	0,2145
Kohlenſäure	1,249	0,8195	0,2187
Oehlbildendes Gas	1,754	1,7898	0,4777
Waſſerdampf	1,960	3,1360	0,8370

391. Die Kenntniß der Wärmecapacität eines Körpers iſt in vielen Beziehungen ſehr wichtig. Unter andern dient ſie auch dazu, die Größe der Temperaturänderung zu berechnen, welche ein Körper von bekannter Maſſe durch Zuthat einer beſtimmten Quantität Wärme erleidet. Iſt nämlich m die Maſſe, c die Capacität eines Körpers, ſo erfährt er durch Zuthat von der Wärmemenge q die Temperaturerhö-

hung $\delta = 75 \frac{q}{mc}$, wie aus der Natur der Sache leicht derivirt werden kann.

Kennt man die Capacität, Natur und Temperatur eines Körpers, ſo kann man immer die Waſſermaſſe finden, welche bei gleicher Temperatur gleich viel Wärme enthält und daher mit jenem Körper in thermiſcher Hinſicht gleichwerthig iſt. Heißt nämlich die Maſſe eines Körpers m, ſeine Capacität c, ſo iſt die gleichwerthige Waſſermaſſe M = mc. Die erſten Spuren des Begriffes von ſpecifiſcher Wärme finden ſich in Deluc's Schriften, beſtimmt leitete ihn aber zuerſt Wilke (1772) her, und gab ſelbſt eine Methode zur Beſtimmung der ſpecifiſchen Wärme an, doch ſcheinen Black in Edinburgh und Irvine in Glasgow früher dieſen Gegenſtand bearbeitet zu haben, wiewohl die Reſultate ihrer Verſuche erſt im Jahre 1779 durch Crawford's darauf gebaute Theorie bekannt wurden. Ueber Capacität und ſpecifiſche Wärme ſiehe: La Roche und Bérard in *Ann. de Chim.* 85. 72. Dulong und Petit in *Ann.. de Chim. et de Phys.* 10. Neumann in Pogg. Ann. 23. 1. Avogadro in *Ann. de Chim.* 55. 38. Regnault in Pogg. Ann. 51. 44, 213; 53. 61, 243; Larive und Marcet in Pogg. Ann. 10. 363, 52. 120; Dulong ebend. 16. 442. Schröder ebend. 52. 269. Bredow über das Verhältniß der ſpecifiſchen Wärme zum chemiſchen Miſchungsgewichte. Berlin 1838. *Suermann Dissert. phys. inaug. de calore fluidorem elasticorum Traj. ad Rhen.* 1836.

Drittes Kapitel.

Bewegungsgeſetze der Wärme. (Thermodynamik.)

392. Die Wärme ſtrebt beſtändig nach Gleichgewicht. Befindet ſich demnach ein warmer Körper in einer minder warmen Umgebung, ſo theilt er dieſer fortwährend Wärme mit, bis alles auf eine gleiche Temperatur gebracht iſt. Dieſe Mittheilung erfolgt aber auf zweifache Weiſe; entweder bewegt ſich die Wärme von einem materiellen Theilchen zum anderen, indem ſie jedes derſelben erwärmt und eines dem anderen in Folge ſeiner höheren Temperatur Wärme zufließen läßt, oder es theilt ein Körper einem entfernt von ihm befindlichen Wärme mit, ohne die zwiſchen liegenden zu afficiren. Jede dieſer zwei Arten der Mittheilung erfolgt nach eigenen Geſetzen, um deren Auseinanderſetzung es ſich hier handelt.

A. Geſetze der ſtrahlenden Wärme.

393. Schon im Jahre 1777 hat Scheele gezeigt, daß ein empfindliches Thermometer, welches einem offenen Kaminfeuer gegenüber, in einiger Entfernung von demſelben aufgeſtellt iſt, merklich ſteige, ſobald es von den Strahlen des Feuers getroffen wird. Dieſes Steigen kann nicht etwa von erwärmter Luft herrühren, denn es unterbleibt ſelbſt dann nicht, wenn die Temperatur der Luft im Zimmer

ſo niedrig iſt, daß man den Athem ſieht; auch iſt es von jedem Luftzuge unabhängig und erfolgt gleichmäßig, das Thermometer mag was immer für einen Stand gegen den Kamin haben, wenn es nur vom Feuer directe Strahlen empfangen kann. Ob es von der durch das Feuer erwärmten aufſteigenden Luft getroffen wird oder nicht, kommt hier gar nicht in Betracht. Demnach muß die beſagte Erwärmung des Thermometers von etwas herrühren, das wie das Licht vom brennenden Körper ausgeht und ſich geradlinig fortpflanzt. Das Licht des Feuers ſelbſt kann es nicht ſeyn, denn hält man eine Glastafel zwiſchen das Thermometer und das Feuer, ſo hört alle Wärmeeinwirkung auf das Thermometer augenblicklich auf, ungeachtet man durch das Glas das Feuer gut ſehen kann, mithin das Licht vom Glaſe durchgelaſſen wird. Die Wirkung eines glühenden Metallſtückes iſt der eines Kaminfeuers vollkommen ähnlich, und dieſe Wirkung dauert, wiewohl in geringerem Grade noch fort, wenn auch das Metall ſchon längſt aufgehört hat zu glühen; ja wenn das Thermometer ſehr empfindlich iſt, ſo kann man ſelbſt bei einem Gefäß mit heißem Waſſer, wo doch gewiß kein Leuchten Statt findet, eine Wirkung auf ein Thermometer in die Ferne bemerken. Man iſt demnach genöthiget, anzunehmen, daß von dem heißen oder warmen Körper Strahlen ausfahren, welche ſich geradlinig wie das Licht fortpflanzen, die wieder Wärme zu erregen im Stande ſind, und darum auch Wärmeſtrahlen heißen.

394. Wiewohl die Geſetze der ſtrahlenden Wärme von mehreren berühmten Phyſikern eifrig ſtudirt wurden, wie z. B. von Pictet, Lambert, Rumford, Leslie; ſo hat doch keiner ſeinen Unterſuchungen ſo wichtige Reſultate abgewonnen, wie die neueſten Forſcher in dieſem Gebiete, Melloni und Forbes; insbeſondere dem erſteren verdanken wir den gegenwärtigen blühenden Zuſtand dieſes Zweiges der Phyſik. Es ſtand ihm aber zu ſeinen Arbeiten ein Inſtrument zu Gebote, welches alle früher bekannten an Empfindlichkeit und Präciſion der Angaben weit übertrifft, nämlich die Thermoſäule (S. 486). Sein Apparat iſt in Fig. 368 abgebildet. A iſt die mit einem ſehr gut eingerichteten und höchſt empfindlichen Multiplicator verbundene, an beiden Enden mit Kienruß geſchwärzte Thermoſäule, B ein Poſtament, worauf man den wärmeſtrahlenden Körper anbringen kann, C ein Tiſchchen für Körper, durch welche die Wärmeſtrahlen gehen müſſen, bevor ſie zur Säule gelangen, D ein Schirm mit einer Oeffnung, um gerade nur einen gewiſſen Strahlenkörper durchzulaſſen, E ein anderer um eine Charniere beweglicher Schirm, der ſchnell zur Seite gebogen und leicht wieder vor die Säule geſtellt werden kann, um nach Umſtänden die Wärmeſtrahlen von der Säule ſchnell abhalten, und wieder dahin gelangen laſſen zu können. Oft befindet ſich auch auf der entgegengeſetzten Seite der Säule ein Schirm, um da alle Wärmeſtrahlen möglichſt von ihr abzuhalten. Zu beſonderen Zwecken und zwar um die Einwirkung ſchwacher Wärmeſtrahlung auf die Säule zu verſtärken, hat man einen coniſchen Aufſatz an der Vorder-

ſeite der Säule. Weſentlich iſt es, daß man die jedem Grade der Ablenkung der Magnetnadel entſprechende Temperaturerhöhung durch vorläufige Verſuche ausgemittelt habe.

Die von Melloni bei den neueſten ſeiner Verſuche gebrauchte Säule beſtand aus 35 Paaren prismatiſcher Antimon- und Wismuthſtäbchen von 32 Mill. Länge, 2,5 Mill. Dicke und 1 Mill. Breite. Dieſe bildeten ein Prisma mit ebenen Endflächen von 4,240 Q. Cent., welches in einem Kupferring befeſtiget war. Beide Enden der Säule waren geſchwärzt, der durchlöcherte Schirm hatte eine Oeffnung von 4 Q. C. Der Multiplicator enthielt ganz eiſenfreien Kupferdraht und Windungen, welche durchgehends mit der Lage der Magnetnadel im Stande des Gleichgewichtes parallel waren und $^2/_3$ des Theilkreiſes deckten. Dieſer Kreis hatte 5 C. Durchmeſſer und die Bedeutung jedes Grades der Ablenkung der aſtatiſchen Magnetnadel ward vorläufig durch Verſuche gefunden. In früherer Zeit bediente man ſich zu Unterſuchungen über die ſtrahlende Wärme gewöhnlicher Thermometer, erſt Rumford und Leslie führten die ſogenannten Differenzialthermometer bei ſolchen Unterſuchungen ein. (Rumford in Gilb. Ann. 17. 33. Kurzer Bericht von Verſuchen und Inſtrumenten ꝛc. von Leslie. Leipzig 1823). Nobili hat zuerſt den Gebrauch der Thermoſäule empfohlen. Ein Differenzialthermometer beſteht im Allgemeinen aus einer zu zwei parallelen Armen aufgebogenen Glasröhre, die an jedem Ende mit einer Glaskugel verſehen iſt. Die Luft in der einen Kugel iſt von jener in der anderen durch eine tropfbare Flüſſigkeit getrennt und dieſe dient zugleich als Zeiger für das Volum der Luft in der einen und anderen Kugel. Die weitere Conſtruction kann auf zweierlei Weiſe geſchehen. Nach der einen ſind die Luftvolume in den zwei Kugeln veränderlich, und es findet nur Gleichgewicht Statt, wenn in beiden dieſelbe Spannkraft herrſcht; nach der anderen hat die Luft in beiden Kugeln immer nahe dasſelbe Volum, aber eine verſchiedene Expanſivkraft, und das Gleichgewicht kann nur durch den Druck einer kürzeren oder längeren tropfbaren Säule hergeſtellt werden. Ein Thermometer der erſten Art hat kurze, aufwärts gebogene Schenkel und ein langes Zwiſchenſtück, es fordert eine ziemlich weite Röhre, einen kurzen Index, und die ganze Scale fällt in das Zwiſchenſtück; die Temperaturdifferenzen ſind den Unterſchieden der Luftvolume proportionirt. Von der Art iſt Rumford's Differenzial-Thermometer (Thermoſkop) Fig. 369. Ein Thermometer der zweiten Art hat lange Schenkel mit einem ganz kurzen Zwiſchenſtücke, die Röhre iſt enge, die Flüſſigkeit füllt einen Schenkel ganz bis in die Kugel, den anderen nur zum Theile, und die Scale fällt ganz in den längeren aufrechten; die Differenz des Druckes dieſer zwei Säulen entſpricht dem Temperaturunterſchiede. Von dieſer Art iſt Leslie's Differenzial-Thermometer (Fig. 370). Bei letzterem iſt die Flüſſigkeit gefärbte Schwefelſäure. Nimmt man dazu eine flüchtige Flüſſigkeit, z. B. Aether, wie dieſes Schmidt und Howard gethan haben, ſo enthält die Luft noch Dünſte derſelben, und es wird im Falle der Erwärmung einer Kugel nicht bloß die Expanſivkraft der Luft und der Dünſte größer, ſondern es entſtehen von letzteren auch neue; das Inſtrument wird dadurch empfindlicher, kann aber nicht mehr, oder wenigſtens nicht auf ſo einfache Art, wie eines der vorigen graduirt werden. Seit man die Thermoſäule kennt, ſind dieſe Inſtrumente ganz in den Hintergrund getreten und werden nur mehr ſelten gebraucht.

395. Wenn man ſucceſſiv verſchiedene Körper bei gleichen und bei ungleichen Temperaturen auf ein Ende der Thermoſäule wirken läßt,

während deren anderes Ende gegen jede Wärmeſtrahlung durch einen Schirm geſchützt iſt; ſo kann man aus der Größe der Ablenkung der Magnetnadel die wärmeſtrahlende Kraft (Strahlungs- oder Emiſſionsvermögen) jener Körper entnehmen. Auf ſolchem Wege erfährt man, daß ſich das Ausſtrahlungsvermögen eines Körpers unter übrigens gleichen Umſtänden nach ſeiner Temperatur und nach der Natur ſeiner Oberfläche richtet. Je höher die Temperatur des ſtrahlenden Körpers, deſto größer ſein Strahlungsvermögen; die Temperatur des dieſen Körper umgebenden Mittels hat darauf keinen Einfluß. Metalle beſitzen dieſes Vermögen in höherem Grade als deren Oxyde, Waſſer in höherem als Glas, dieſes in höherem als Papier. Aendert man durch einen, wenn auch nur dünnen Ueberzug oder durch einen Anſtrich die Natur der Oberfläche, ſo iſt dadurch auch ſchon das Strahlungsvermögen modificirt. Selbſt die Härte und Elaſticität hat darauf einen großen Einfluß. Wird ein Metall durch Hämmern oder Walzen polirt, ſo erfährt zugleich die an der Oberfläche liegende Schichte eine Härtung, und dadurch eine Veränderung des Ausſtrahlungsvermögens. Da ein Poliren mittelſt eines Schleifpulvers keine ſolche Veränderung mit ſich führt, ſo bleibt es auch ohne Einfluß auf das Strahlungsvermögen. Nimmt man aber die härtere und mehr elaſtiſche Schichte einer auf die erſtere Art polirten Metallfläche durch Ritzen, Feilen ꝛc. weg, ſo erhöht man das Strahlungsvermögen wieder auf den urſprünglichen Grad, während eine ſolche Operation an einem durch ein Polirpulver geglätteten Metalle keine Erhöhung des Strahlungsvermögens zur Folge hat. Körper, welche beim Poliren durch was immer für ein Mittel keine Härtung erleiden, wie z. B. Marmor, Elfenbein, beſitzen demnach auch im polirten und rauhen Zuſtande dasſelbe Strahlungsvermögen. (Melloni in Pogg. Ann. 45. 57.)

Sehr lehrreich iſt in Bezug auf den Einfluß der Natur der Oberfläche auf Wärmeſtrahlung ein Verſuch, den zuerſt Leslie mit Hülfe ſeines Differenzialthermometers, neueſtens aber auch Melloni mittelſt der Thermoſäule angeſtellt hat. Man bringt der Säule gegenüber in nicht zu großer Entfernung davon und nachdem man den coniſchen Aufſatz aufgeſetzt hat, ein cubiſches Gefäß an, das dünne Blechwände hat, deren jede mit einer anderen Subſtanz überzogen iſt, füllt das Gefäß mit Waſſer und erhitzt es mittelſt einer Weingeiſtlampe. Da bemerkt man nun verſchiedene Ablenkungen der Magnetnadel, je nachdem man der Säule die eine oder die andere Seite des doch allenthalben gleich warmen Gefäßes zuwendet. Melloni fand ſo das Ausſtrahlungsvermögen von Kienruß = 100 geſetzt, jenes von Bleiweiß = 100, Hauſenblaſe = 91, Tuſch = 85, Gummilack = 72, einer Metallfläche = 12. (Pogg. Ann. 35. 572.)

396. Man kann nicht allen von einem Puncte eines Körpers ausfahrenden Wärmeſtrahlen dieſelbe Intenſität zuſchreiben, ja man hat Grund anzunehmen, daß die ſchief ausfahrenden im Verhältniſſe des Sinus ihres Ausſtrahlungswinkels minder intenſiv ſeyen. Wenigſtens erklärt es ſich daraus, daß eine ebene Scheibe auf die Thermoſäule eben ſo wirken kann, wie eine gleich warme und an der Oberfläche gleich beſchaffene Kugel, ungeachtet letztere mehr Ausſtrahlungspuncte

der Säule zuwendet und ihr darum auch mehr Strahlen zuſenden muß. Vom Ausſtrahlungspuncte aus gehen die Wärmeſtrahlen durch den leeren Raum ſowohl als durch Luft oder Dampf unabhängig von deren Bewegung geradlinig vorwärts, mit einer Geſchwindigkeit, die jener des Lichtes ſelbſt wahrſcheinlich nicht viel nachſteht und ſich nach Wrede's neueſten Verſuchen zu derſelben wie 4:5 verhalten ſoll. Die Strahlen divergiren nach Maßgabe des zurückgelegten Weges und üben auf einen Körper eine im verkehrten Verhältniß des Quadrates ihrer Entfernung vom Ausſtrahlungspuncte kleinere Wirkung aus.

Schon Lambert (deſſen Pyrometrie S. 197) hat gefunden, daß fünf Thermometer, welche er der Wärme einer Glutpfanne in den Entfernungen 12,63, 23,05, 34,51, 46,25, 58,10 ausgeſetzt hatte, eine Erwärmung von reſpective 15°,3, 4°,7, 2°,0, 1°,1, 0°,7 erfahren (das genannte Geſetz verlangt eine Erwärmung von 15°,3, 4°,6, 2°,0, 1°,1, 0°7). Melloni (Pogg. Ann. 39. 566) hat nach ſeiner Methode in den Entfernungen 60, 70, 100 die Erwärmungen 28,73, 21,10, 10,34 gefunden, die obigem Geſetze faſt ganz genau entſprechen.

397. Gelangt ein Wärmeſtrahl an die Grenze eines Mittels, ſo erleidet er daſelbſt mehrere ſehr merkwürdige Modificationen, deren jede nach beſonderen Geſetzen vor ſich geht. Es wird nämlich an dieſer Grenze ein Theil regelmäßig, eine anderer zerſtreut zurückgeworfen, wieder ein anderer dringt in das neue Mittel ein, und wird entweder durchgelaſſen oder ganz oder theilweiſe in demſelben abſorbirt. Der durchgelaſſene Theil wird unter den gehörigen Bedingungen von ſeiner geraden Bahn abgelenkt (gebrochen). Sowohl der reflectirte als der gebrochene Antheil erhält zugleich unter den gehörigen Umſtänden einen eigenthümlichen Charakter, jenen der Polariſation. Somit erleidet ein Wärmeſtrahl auf ſeinem Wege nahe dieſelben Modificationen wie ein Lichtſtrahl.

398. Körper, welche Wärmeſtrahlen durchlaſſen und ſich demnach gegen dieſelben ſo verhalten, wie durchſichtige Stoffe gegen das Licht, werden diathermane genannt. Ob ein Körper zu den diathermanen gehöre oder nicht, ſo wie die Geſetze der Diathermanität, erfährt man leicht durch einen Verſuch mit der Thermoſäule. Bringt man dieſer gegenüber in einer beſtimmten Entfernung eine conſtante Wärmequelle an, welche ihre Strahlen auf eine Endfläche der Säule ſendet, während die andere Fläche gegen die Einwirkung ſtrahlender Wärme geſchützt iſt; ſo erfährt man aus der Ablenkung der Magnetnadel die Größe der Wärmeſtrahlung dieſer Wärmequelle. Bringt man hierauf zwiſchen dieſer und der Säule einen polirten Metallſchirm an, ſo kehrt die Magnetnadel ſchnell wieder in ihre natürliche Stellung zurück, zum Beweiſe, daß der Metallſchirm keine Wärmeſtrahlen durchlaſſe, mithin atherman ſey. Vertauſcht man aber dieſen Schirm mit einer Glas- oder Glimmerplatte, ſo wird alſogleich eine Ablenkung der Magnetnadel bemerklich, zum Beweiſe der Diathermanität der jetzt gebrauchten Platte. Aus dem Verhältniſſe der Ablenkung mit und ohne Schirm kann man das Verhältniß der von letzterem durchgelaſſe-

nen zu den von der Wärmequelle ausgehenden Strahlen ermitteln. Verſuche dieſer Art lehren, daß die Diathermanität eines Körpers mit ſeiner Durchſichtigkeit in gar keiner Relation ſtehe. Manche Körper, wie z. B. Steinſalz, Kalkſpath, Gips, Alaun, ſind faſt in gleichem Grade durchſichtig, aber ſehr verſchieden diatherman, das dunkelbraune Schwefelchlorid iſt diathermaner als die waſſerhelle Schwefelſäure, Olivenöhl diathermaner als Waſſer, ja ſchwarzes Glas iſt bei 1 L. Dicke nicht mehr durchſichtig, aber noch ſtark diatherman, und Kienruß gehört zu den ganz undurchſichtigen, aber auch zu den ſtark diathermanen Körpern; doch iſt die Mehrzahl der durchſichtigen Körper auch diatherman. Der diathermanſte aller bekannten Körper iſt das Steinſalz. Ein und derſelbe Körper iſt in der Regel für Strahlen, die von einer heißen Wärmequelle kommen, mehr diatherman, als für ſolche, die eine minder heiße Quelle ausſendet. Ein aus grünen (mit Kupferoxyd gefärbten) Glasplatten zuſammengeſetzter, mit Waſſer gefüllter Behälter läßt nur Licht, aber gar keine Wärme durch, ein ſolcher linſenförmiger Behälter wirkt alſo im Brennpuncte ſelbſt bei ſtärkſter Beleuchtung nicht wärmend.

399. Die Wärmeſtrahlen werden beim Eintritt in einen diathermanen Körper unter den gehörigen Umſtänden gebrochen. Stellt man vor einer Thermoſäule, und zwar außer ihrer Axe, eine Wärmequelle, z. B. eine heiße Metallplatte auf, die ihre Wärmeſtrahlen der Säule nicht direct zuſenden kann, ſo erfolgt natürlich auch keine Ablenkung der Magnetnadel des Apparates. Bringt man aber zwiſchen der Säule und der Wärmequelle ein dreiſeitiges Prisma von einem ſehr diathermanen Stoffe, z. B. von Steinſalz an; ſo findet man bald eine ſolche Stellung deſſelben, wo die Magnetnadel eine Ablenkung erfährt, zum Beweiſe, daß die Wärmeſtrahlen vom Prisma durch Brechung auf die Säule gebracht worden ſeyen. Man kann auf dieſem Wege ſogar erfahren, daß die von heißeren Wärmequellen herkommenden Wärmeſtrahlen eine größere Ablenkung durch das Prisma erfahren, als die von minder heißen Quellen ausgeſendeten, und demnach auf ſolche Weiſe ſogar eine Verſchiedenheit in den Strahlen heißer und minder heißer Körper erkennen. Aus dem Geſagten iſt klar, daß man mittelſt einer Sammellinſe aus Steinſalz ſelbſt dunkle Wärme im Focus concentriren kann, ja es läßt ſich ſogar zeigen, daß die Erhitzung im Focus einer den Sonnenſtrahlen ausgeſetzten Glaslinſe nicht von der Concentration der Lichtſtrahlen, ſondern nur von jener der Wärmeſtrahlen herrühre.

400. Die in einen diathermanen Körper eindringenden Wärmeſtrahlen erleiden auf ihrem Wege in dieſem Körper in der Regel eine Schwächung, indem ein Theil derſelben der ſtrahlenden Kraft beraubt, d. h. **abſorbirt** wird. Dieſe Abſorption ſteht natürlich mit der Diathermanität im verkehrten Verhältniſſe. Es hängt das Abſorptionsvermögen eines Körpers von ſeiner Natur und von der Beſchaffenheit ſeiner Oberfläche ab. Je härter und elaſtiſcher derſelbe iſt, deſto weniger Wärme wird abſorbirt. Körper, welche beim Poliren eine Veränderung der ober-

flächlichen Schichten erleiden, erlangen zugleich dadurch ein geringeres Abſorptionsvermögen, und in ſo ferne kann man von der Politur der Oberfläche auf ein geringes Abſorptionsvermögen ſchließen. Ein dicker Körper abſorbirt mehr Wärme als ein minder dicker, es wird aber nicht in jeder der gleich dicken Schichten eines diathermanen Körpers von den eindringenden Strahlen derſelbe aliquote Theil abſorbirt, ſondern in den erſteren Schichten mehr als in den folgenden, und es kann kommen, daß Strahlen, welche der abſorbirenden Kraft der erſteren Schichten entgangen ſind, in den folgenden gar keine Abſorption mehr erleiden, und daher der Körper für die von der erſteren Abſorption übrig gebliebenen Strahlen als vollkommen diatherman erſcheint. Eben ſo lehrt die Erfahrung, daß Strahlen, die in einem diathermanen Mittel bereits durch Abſorption eines Theiles geſchwächt worden ſind, oft ein anderes Mittel von beſtimmter Natur durchfahren können, ohne eine weitere Schwächung durch Abſorption zu erleiden. In einer Reihe hinter einander folgender diathermanen Mittel erleiden Wärmeſtrahlen dieſelbe Abſorption, in was immer für einer Ordnung die Mittel auf einander folgen mögen.

401. Wenn man die abſorbirende Kraft eines diathermanen Körpers für Wärmeſtrahlen, welche verſchiedene Wärmequellen ausſenden, unterſucht; ſo überzeugt man ſich, daß dieſe Kraft für Strahlen verſchiedener Wärmequellen auch verſchieden iſt, gerade ſo, wie farbige Mittel mit verſchiedenen abſorbirenden Kräften auf verſchiedene Lichtſtrahlen wirken. Aber eben ſo, wie man die Lichtſtrahlen, welche in demſelben Mittel eine verſchiedene Abſorption erleiden, von einander verſchieden annimmt, ſo muß man es mit den Wärmeſtrahlen thun. Es muß daher zugelaſſen werden, daß es mehrere Arten von Wärmeſtrahlen gebe, die ſich durch ihre verſchiedene Abſorbirbarkeit von einander unterſcheiden. Man ſchreibt den Körpern, in ſo ferne ſie die Fähigkeit beſitzen, gewiſſen Wärmeſtrahlen den Durchgang zu geſtatten, andere aber zu abſorbiren, Diathermanſie zu, und unterſcheidet dieſe weſentlich von der Diathermanität, welche die Fähigkeit eines Körpers bezeichnet, von den einfallenden Wärmeſtrahlen irgend einen aliquoten Theil durchzulaſſen. Erſtere Fähigkeit verhält ſich demnach zur letzteren, wie die Durchſichtigkeit eines Körpers zu ſeiner Färbung. Man kennt gegenwärtig nur einen Körper, der alle Gattungen Wärmeſtrahlen gleich leicht durchläßt, mithin ohne Diathermanſie iſt, nämlich das Steinſalz. In der Regel ſind mit Diathermanſie begabte Körper durchgängiger für Strahlen aus Wärmequellen hoher Temperatur, welche zugleich die mehr brechbaren ſind; allein es gilt dieſes nicht allgemein, wie denn wirklich ein mit Ruß geſchwärztes Steinſalzplättchen den Strahlen aus Quellen niederer Temperatur leichteren Durchgang geſtattet, als denen von Quellen höherer Temperatur. Man kennt keine Eigenſchaft der Körper, mit denen die Diathermanſie in nothwendiger Verbindung ſtünde. Umſtände, welche die Diathermanität afficiren, wie z. B. Färbung eines Glaſes, wirken darum nicht ſchon auch auf die Diathermanſie.

402. Es mag ein Körper diatherman ſeyn oder nicht, ſo erleidet doch ein darauf fallender Wärmeſtrahl an der Eintrittsfläche immer eine theilweiſe Reflexion, und nie dringt *alle* einfallende Wärme ins neue Mittel ein. Iſt der Körper an der Seite, wo er von Wärmeſtrahlen getroffen wird, glatt und polirt, ſo geht die Reflexion genau nach den Geſetzen vor ſich, welche das Licht befolgt, nämlich es liegt der reflectirte Strahl in der Einfallsebene, und der Reflexionswinkel iſt dem Einfallswinkel gleich. Man überzeugt ſich davon, wenn man eine polirte Metalltafel ſchief der Thermoſäule gegenüber ſtellt, und in einiger Entfernung davon eine Wärmequelle ſo anbringt, daß, wenn ſie Licht ausſendete, die reflectirten Strahlen die Säule treffen würden. Da bemerkt man nämlich auch eine Einwirkung auf die Magnetnadel, und kann, wenn nach der Hand die Wärmequelle der Säule direct gegenüber geſtellt wird, mit Berückſichtigung der etwaigen Verſchiedenheiten in den Entfernungen, die Wirkung der reflectirten Strahlen mit jener der directen vergleichen. Auf dieſem Wege erfährt man, daß nur glatte und polirte Flächen die Wärme regelmäßig reflectiren, daß metalliſche Körper mehr Wärme zurückwerfen als nicht metalliſche, daß Härte und Elaſticität der Oberfläche, wie dieſe häufig beim Poliren der Metalle zu Wege gebracht wird, eine Vergrößerung des Reflexionsvermögens zur Folge hat, ferner daß dieſes Vermögen von der Diathermanſie des reflectirenden Mittels ganz unabhängig iſt.

Aus dem Vorhergehenden iſt klar, daß man in dem Brennpuncte eines Hohlſpiegels, der ein großes Reflexionsvermögen beſitzt, wie dieſes bei getriebenen, gut polirten Metallſpiegeln der Fall zu ſeyn pflegt, die Strahlen eines heißen Körpers concentriren und daher mit einem ſolchen hohe Temperaturen hervorbringen könne. Werden zwei derlei Spiegel einander gegenüber geſtellt und wird in den Brennpunct des einen ein feſter Körper gebracht, ſo zeigt ſich im Brennpuncte des anderen eine bedeutende Erhitzung. Wird ein ſolcher Spiegel mit der ſpiegelnden Fläche gegen den Himmel gekehrt und im Brennpunct ein Thermometer angebracht; ſo zeigt ſich im Laufe der Nacht eine bedeutende Erkältung, wenn der Himmel heiter iſt, während bei bewölktem Himmel davon nichts bemerkt wird. Die Reflexion der Wärmeſtrahlen hat zuerſt *Mariotte* im Jahre 1686 nachgewieſen, den Verſuch mit zwei Spiegeln aber zuerſt *Zahn* in Wien angeſtellt.

403. Rauhe und matte, ſowohl diathermane als athermane Flächen bewirken keine regelmäßige Reflexion der Wärmeſtrahlen, ſondern zerſtreuen einen Theil derſelben nach allen Richtungen. Weiße Körper und rauhe Metalle beſitzen dieſe zerſtreuende Kraft in beſonders hohem, Kienruß in beſonders geringem Grade. Merkwürdig iſt es, daß die zerſtreuende Reflexion (Diffuſion) gleich der Abſorption für Strahlen verſchiedener Art in der Regel verſchieden iſt, während die regelmäßige Reflexion von der Natur der Wärmeſtrahlen gar nicht abhängt, ſo, daß demnach durch die Zerſtreuung die Abſorption um die ganze zerſtreut reflectirte Wärmemenge vermindert wird.

404. Faßt man die hier dargeſtellten Modificationen der ſtrahlenden Wärme zuſammen, ſo ſieht man, daß man in Bezug auf dieſe

wenigſtens bildlich mehrfache Vermögen der Körper annehmen müſſe, nämlich ein Emiſſions- oder Strahlungs-, ein Reflexions-, Diffuſions-, Transmiſſions-, Brechungs- und Abſorptionsvermögen. Dieſe ſtehen in gewiſſen Relationen zu einander. Alles, was das Emiſſionsvermögen vergrößert, vermindert das Reflexions- und Diffuſionsvermögen; letztere beide zuſammen ſtehen im verkehrten Verhältniſſe mit dem Abſorptions- und im geraden mit dem Transmiſſionsvermögen. Durch dieſe Relation der einzelnen Vermögen wird es möglich, daß in einem Syſteme von Körpern eine Gleichheit der Temperatur erzielt und erhalten werden könne. Man kann davon auch mehrfache in theoretiſcher und practiſcher Hinſicht wichtige Anwendungen machen.

Es falle ein homogenes Strahlenbündel von der Intenſität I ſenkrecht auf einen diathermanen Körper von der Dicke m, und es gehe davon durch regelmäßige und zerſtreuende Reflexion der Antheil aI verloren. Da tritt nun der Theil $I(1-a)$ ins neue Mittel ein. Wird in jeder Schichte von der Dicke $=1$ der Theil μ abſorbirt, ſo iſt der Strahl $I(1-a)$, nachdem er n Schichten zurückgelegt hat, durch Abſorption auf die Intenſität $I(1-a)(1-\mu)^m$ reducirt. Wird von dieſem beim Austritte aus dem betreffenden Mittel der Theil a_1 ins Innere zurückgeworfen, ſo iſt die Intenſität des das Mittel verlaſſenden Strahles $I(1-a)(1-a_1)(1-\mu)^m = A$. Wäre der Strahl beim erſten Eintritte nicht homogen geweſen, ſo würde man für jeden heterogenen Büſchel eine ſolche Gleichung erhalten, und in jeder hätte μ einen der Natur des Strahles entſprechenden Werth. Geht der aus dem Mittel austretende homogene Strahl in ein zweites von derſelben Natur, aber von der Dicke n, ſo hat er beim Austritte aus dieſem den Intenſitätswerth $A(1-a)(1-a_1)(1-\mu)^n = I(1-a)^2(1-a_1)^2(1-\mu)^{m+n}$. Auf ähnliche Weiſe erhält man für dieſen Strahl, wenn er w Platten von der Dicke m, n, p, q, aber von einerlei Natur durchfahren hat, den Ausdruck $I(1-a)^w(1-a_1)^w(1-\mu)^{m+n+p+q+\cdots}$. Ein vollkommen diathermanes Plättchen kann als unendlich dünn angeſehen werden; man hat $m=0$ und daher $A = I(1-a)(1-a_1)$, oder wenn es beiderſeits von demſelben Mittel begrenzt iſt $A = I(1-a)^2$. Von der Art iſt ein in der Luft befindliches Steinſalzplättchen. Für ein ſolches zeigen Verſuche $A = 0{,}923$, wenn $I = 1$ geſetzt wird, woraus man findet $a = 0{,}0393$ oder nahe $1/_{400}$. Demnach verliert man an einem ſolchen Plättchen durch Reflexion an den beiden Grenzflächen nahe $1/_{400}$ der auffallenden Strahlen.

Die erwähnten Geſetze der ſtrahlenden Wärme lehren auch, daß man Körper, welche die Wärme zuſammenhalten ſollen, wie z. B. Dampfcylinder, Wärmeleitungsröhren, Feuerſchirme, am beſten mit metalliſcher, ſtark glänzender Oberfläche verſieht, ſolche, die Wärme abſorbiren ſollen, am beſten mit Kienruß ſchwärzt; daß man zarte Pflanzen ſchon durch eine leichte Bedeckung vor Froſt ſchützen kann. Auch der Nutzen der Winterfenſter, Doppelthüren, weiten Kleider, der Pelzwerke und Federbedeckung, des Schnees ꝛc. wird aus den Geſetzen der ſtrahlenden Wärme, insbeſondere aus der bei jedem Wechſel des Mittels Statt findenden theilweiſen Reflexion erklärbar.

405. Man kann füglich annehmen, daß Körper bei jeder Temperatur Wärme ausſtrahlen. In einem Syſteme von Körpern erhält demnach jeder von dem andern Wärmeſtrahlen und ſendet jedem von ſeinem

eigenen Vorrathe zu, und ein Steigen der Temperatur eines Theiles dieſes Syſtems muß davon herrühren, daß dieſer Theil mehr ihm zugeſendete Wärme abſorbirt, als er ausſtrahlt, ein Erkalten vom Gegentheile. Gleichgewicht der Temperatur iſt demnach der Zuſtand, wo jeder eben ſo viel Wärme empfängt, als er abgibt, und ſomit von dem, was man ſonſt ſo nennt, weſentlich verſchieden. Man nennt es darum auch bewegliches Gleichgewicht. Auf dieſem beruht die ſcheinbare Reflexion der Kälte durch zwei einander zugekehrte Hohlſpiegel.

406. Die bisher beſprochenen Modificationen der ſtrahlenden Wärme beziehen ſich auf die Richtung und Intenſität der Wärmeſtrahlen; es gibt aber auch eine ſolche Modification derſelben, welche nicht dieſe Beziehung hat, nämlich die Polariſation. Die Mittel, deren man ſich bedient, um Licht zu polariſiren, dienen auch zur Polariſirung der Wärmeſtrahlen. Dünne Glimmerblätter laſſen bekanntlich eine große Menge von Wärmeſtrahlen von jeder Gattung leicht durch, und man kann ſich ſolche Plättchen leicht durch Spalten dickerer Platten mittelſt Erhitzen über Kohlenfeuer verſchaffen. Eine Säule von 30 — 120 ſolcher Plättchen in der Lage angewendet, die ſie in ihrem natürlichen Zuſammenhange haben, läßt die mittelſt einer Steinſalzlinſe parallel gemachten Strahlen einer Wärmequelle kaum mehr durch, wenn ſolche ſenkrecht auffallen; ſo wie man aber die Strahlen ſchief auffallen läßt, wird alſogleich ein Theil derſelben durchgelaſſen. Dieſer Theil wächſt mit der Größe des Neigungswinkels bis zu einer gewiſſen Grenze, wo er ein Maximum erreicht. Bei einer Säule aus 120 ſehr dünnen Plättchen tritt dieſes Maximum bei einem Einfallswinkel von $33^1/_2{}^{\circ}$, alſo beim Winkel der vollkommenen Polariſation des Lichtes ein. Bei einer größeren Anzahl Plättchen iſt die Menge der in Maximo durchgelaſſenen Strahlen geringer, und erfolgt auch bei einem kleineren Einfallswinkel. Dieſe Erfahrung beweiſet, daß die Wärmeſtrahlen in den erſteren Plättchen der Glimmerſäule durch Brechung die Eigenſchaft erlangt haben, die folgenden ohne Schwächung zu durchdringen, mithin durch Brechung polariſirt worden ſeyen. Nimmt man zwei gleiche Glimmerſäulen aus dünnen Plättchen, läßt durch die erſte etwa unter 45° Wärmeſtrahlen gehen und fängt die austretenden mit der zweiten unter demſelben Winkel auf; ſo geſtattet ſie den Wärmeſtrahlen den Durchgang, wenn die Einfallsebenen in beiden Säulen mit einander parallel gehalten werden; ſo wie man aber dieſen Parallelismus aufhebt, vermindert ſich die Menge der durchgelaſſenen Wärme, und ſie ſinkt auf das Minimum herab, wenn beide Einfallsebenen auf einander ſenkrecht ſtehen. Statt die Strahlen durch die erſte Glimmerſäule zu leiten, kann man ſie auch von einer ſolchen unter dem Polariſationswinkel reflectiren laſſen, und man wird ſehen, daß die von der zweiten Säule durchgelaſſenen Strahlen ihr Maximum erreichen, wenn beide Einfallsebenen auf einander ſenkrecht ſtehen, hingegen das Minimum, wenn jene Ebenen einander parallel ſind. Es wird demnach die Wärme durch Brechung und durch Reflexion polariſirt. Wird

zwiſchen die zwei Glimmerſäulen, während die Einfallsebenen in beiden einander parallel ſind, ein dünnes Gips- oder Glimmerplättchen ſo geſtellt, daß es die die erſte Säule verlaſſenden Wärmeſtrahlen ſenkrecht treffen; ſo bewirkt dieſes in der Intenſität der durch die zweite Säule gehenden Strahlen keine Aenderung, wenn der Hauptſchnitt des Plättchens mit der Einfallsebene der Strahlen in die Säulen parallel oder darauf ſenkrecht iſt; dreht man aber das Plättchen in ſeiner eigenen Ebene, ſo vermindert ſich die von der zweiten Säule durchgelaſſene Wärme, und erreicht ein Minimum, wenn der Hauptſchnitt des Plättchens um 45° gegen jene Einfallsebene geneigt iſt. Es wird demnach die Wärme auch durch Doppelbrechung polariſirt. Ein rhombiſches Prisma aus Steinſalz, ähnlich dem in 301 beſprochenen Glasprisma, kann einen polariſirten Wärmeſtrahl durch doppelte Reflexion auch circular polariſiren. Man hat ſogar eine Drehung der Polariſationsebene eines Wärmeſtrahles durch eine ſenkrecht auf die Kryſtallaxe geſchnittene Bergkryſtallplatte bemerkt, und hier ſogar den Gegenſatz beobachtet, der ſich bei ſogenannten rechten und bei linken Kryſtallen dieſer Art in optiſcher Beziehung kund zu geben pflegt.

407. Alles bisher über ſtrahlende Wärme Dargeſtellte zeigt, daß ſich mit Ausnahme der Beugung und Interferenz alle Modificationen, welche das Licht erleidet, auch bei der Wärme wahrnehmen laſſen, ja es ſind ſogar für mehrere dieſer Modificationen die thermiſchen Geſetze den optiſchen völlig gleich, wie jene der geradlinigen Fortpflanzung, der Reflexion, Brechung, Abſorption und Polariſation. Was beim Lichte die verſchiedenfarbigen Strahlen ſind, das ſtellen bei der Wärme die heterogenen Strahlen vor, die ſich durch Abſorbirbarkeit von einander unterſcheiden; diathermane Körper entſprechen den diaphanen, athermane den undurchſichtigen, farblos durchſichtige, wie Kryſtallglas, den diathermanen ohne Diathermanſie, wie Steinſalz; farblos undurchſichtige, wie Kreide, den für alle Strahlen athermanen, wie Kienruß; farbig durchſichtige, wie rothes Glas, ſolchen, welche nur gewiſſe Strahlen durchlaſſen, wie Alaun. Bei aller dieſer Uebereinſtimmung behaupten die Wärmeſtrahlen doch eine gewiſſe Selbſtſtändigkeit, welche hindert, ſie als ein bloß dem Grade nach vom Lichte verſchiedenes Agens anzuſehen. Ueber ſtrahlende Wärme ſiehe: Biot in Pogg. Ann. 38. 1; 39. 250, 436, 544. Melloni ebend. 39. 1; 45. 57; 48. 326; 49. 577, 585; 51. 73; 52. 421, 573; 53. 47, 268. Forbes ebend. 45. 64, 442; 51. 88, 387.

B. Geſetze der geleiteten Wärme.

408. Ein Körper, der Wärmeſtrahlen abſorbirt, erfährt dadurch eine Erhöhung ſeiner Temperatur, welche der Menge der abſorbirten Wärmeſtrahlen direct und ſeiner Capacität verkehrt proportionirt iſt. Die Erwärmung pflanzt ſich von der Stelle, wo die Abſorption Statt findet, nach allen Richtungen in der betreffenden Maſſe fort, indem jedes wärmere Theilchen ſeinem benachbarten minder warmen Wärme mittheilt, und dadurch ſelbſt eine Temperaturverminderung erfährt. Da,

wo ein ſolches Theilchen an einen leeren Raum oder an einen diathermanen Körper grenzt, ſendet es ſelbſt wieder Wärmeſtrahlen aus, und wird dadurch erkältet. Eben ſo gibt es an ein materielles Mittel von geringerer Temperatur unmittelbar Wärme ab. Zuletzt tritt Gleichgewicht der Temperatur ein, und zwar dann, wenn für jedes Theilchen Wärmeempfang und Wärmeabgabe gleich ſind. Es herrſcht alſo auch hier eine Art bewegliches Gleichgewicht. Der Ab- und Zufluß der Wärme (nicht der Wärmeſtrahlen) erfolgt nach eigenen Geſetzen, deren gründliche Erörterung aber Kenntniſſe der höheren Analyſis vorausſetzt und darum hier nicht geſucht werden darf.

409. Die Frage über die Fortpflanzung der Wärme in einem feſten Körper ſchließt als das wichtigſte Element zu ihrer Beantwortung folgende in ſich: Wie viel Wärme geht durch einen Querſchnitt = 1 dieſes Körpers nach einer beſtimmten Richtung in einer Zeiteinheit? Daß dieſe Wärmemenge von der zunächſt an beiden Seiten des fraglichen Querſchnittes herrſchenden Temperatur abhänge, iſt für ſich klar, und die einfachſte Vorausſetzung iſt offenbar, daß ſie der Temperaturdifferenz der beſagten Stellen proportional ſey. In dieſer Vorausſetzung ſind auch in der That alle Rechnungen über die Bewegung der Wärme in feſten Körpern gemacht, und da deren Reſultate von der Erfahrung beſtätiget werden, ſo iſt an der Zuläſſigkeit derſelben wenigſtens für ſo kleine Temperaturdifferenzen, wie ſie an einander ſo nahe gelegenen Stellen vorkommen können, nicht zu zweifeln. Die Folge wird lehren, daß für größere Differenzen eine ſolche Vorausſetzung nicht mehr der Wahrheit gemäß wäre. Nebſt der Wärmedifferenz diesſeits und jenſeits des fraglichen Querſchnittes hat auch die Natur der Körper ſelbſt auf die Wärmemenge, welche durch dieſen Querſchnitt in einer beſtimmten Zeit geht, Einfluß. Man heißt die Fähigkeit eines Körpers, der Wärme in ſeinem Innern die Fortpflanzung mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit zu geſtatten, ſeine Wärmeleitungsfähigkeit, und nennt jene Körper, in welchen dieſe Geſchwindigkeit relativ groß iſt, gute, jene, in welchen ſie gering iſt, ſchlechte Wärmeleiter. Einen Körper, der für die Wärme ganz undurchdringlich wäre, alſo ein Nichtleiter genannt werden könnte, gibt es nicht. Alles dieſes zuſammen genommen zeigt, daß die Wärmemenge q, welche durch den Querſchnitt a eines Körpers von der Leitungsfähigkeit k, deſſen Theile an der einen Seite des Querſchnittes die Temperatur t, an der andern die Temperatur t' haben, in der Zeit δ geht, ausgedrückt werde durch $q = ka(t - t')\delta$.

410. Als Beiſpiel des Verlaufes der Sache bei der Fortpflanzung der Wärme in einem feſten Körper diene der Fall, wo der zu unterſuchende Körper die Geſtalt eines dünnen, langen Prisma's mit quadratförmigem Querſchnitte hat. Wird ein ſolcher Stab an einem Ende einer conſtanten Wärmequelle, z. B. der Wirkung einer guten Lampe, ausgeſetzt, ſo geht die Wärme von dieſem Ende gegen das andere mit einer der Leitungsfähigkeit des Stabes angemeſſenen Geſchwindigkeit, indem jedes Theilchen ſeinem Nachbar nach Maßgabe der beiderſeitigen

Temperaturdifferenz Wärme abtritt. Zu gleicher Zeit ſenden die am äußeren Umfange liegenden Theile Wärmeſtrahlen aus und geben auch an die Luft unmittelbar Wärme ab, und dieſer Verluſt wird von den mehr nach innen gelegenen wieder erſetzt. Wenn endlich jedes Theilchen von den wärmeren eben ſo viel Wärme bekommt, als es an die kälteren oder an die Umgebung abgibt, ſo iſt die Temperatur des Ganzen ſtationär und ändert ſich ungeachtet der fortdauernden Wirkung der Wärmequelle nicht mehr. Die Vertheilung der Wärme in dieſem Zuſtande kann man nun ſowohl auf dem Wege des Verſuches, als durch Rechnung beſtimmen. Zum Behufe des Verſuches überzieht man die Stange mit einer dicken Lage Kienruß, um ihre Wärmeſtrahlung gering und von der Natur des Stoffes unabhängig zu machen, bringt dann an mehreren, von einander gleich weit abſtehenden Stellen, ſenkrecht auf die Axe des Prisma's, Vertiefungen an, welche etwas über die Axe ins Innere hineinreichen. Wird nun die Stange in horizontale Lage gebracht, in jede Vertiefung die Kugel eines empfindlichen Thermometers geſtellt, der Zwiſchenraum mit Queckſilber ausgefüllt und dann ein Ende dem Einfluſſe der Wärmequelle ausgeſetzt und abgewartet bis alle Thermometer ſtationär geworden ſind; ſo gibt der Ueberſchuß der Temperatur jedes einzelnen über die des Verſuchslocales die nöthigen Daten zur Löſung der Aufgabe. Die mathematiſche Behandlung dieſer Aufgabe führt zu dem Ausdrucke:

$$y = A \cdot 10^{-\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}} + B \cdot 10^{\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}},$$

wo y der Temperaturüberſchuß der Stelle iſt, deren Entfernung vom heißeſten Ende x heißt, m der Modul der gewöhnlichen Logarithmen = 2,302585, k die Leitungsfähigkeit der Stange, h eine von dem Strahlungsvermögen derſelben, A und B conſtante, von der Temperatur der Wärmequelle abhängige Größen bedeuten. Iſt die Stange ſo lang, daß ihr äußerſtes Ende nicht mehr von der Wärmequelle afficirt wird, ſo hat man $y = A \cdot 10^{-\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}}$, eine Gleichung, die mehrerer ſehr wichtiger Anwendungen fähig iſt.

Die vorſtehende Gleichung kann dazu gebraucht werden, die Temperatur einer Wärmequelle zu beſtimmen. Es iſt nämlich für $x = 0$ $y = A$ der Temperaturüberſchuß der Wärmequelle über die Temperatur des Verſuchslocales, und da letztere bekannt iſt, ſo braucht man nur mehr A zu beſtimmen, um die Aufgabe löſen zu können. Nun hat man aber für die Stelle x den Ausdruck $\log y = \log A - \frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}$, für die Stelle x' den Ausdruck $\log y' = \log A - \frac{x'}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}$ und aus beiden $\frac{1}{m}\sqrt{\frac{h}{k}} = \frac{\log y - \log y'}{x' - x}$; dieſes in erſtere Gleichung ſubſtituirt gibt $\log A = \frac{x' \log y - x \log y'}{x' - x}$.

411. Aus allen dieſem ſieht man, daß bei Behandlung der Frage über die Fortpflanzung der Wärme im Innern der Körper die Leitungsfähigkeit eine große Rolle ſpielt, und wie nöthig es ſey, ſie numeriſch

zu beſtimmen. Zu dieſem Ende muß man ſich gegenwärtig halten, daß ſie ausgedrückt werde durch die Wärmemenge, welche in einer Zeiteinheit durch einen Querſchnitt = 1 geht, während die Temperatur zunächſt an dieſem diesſeits und jenſeits deſſelben = 1 iſt. Die Beſtimmung dieſer Größe iſt verſchieden, je nachdem der Körper, um den es ſich handelt, ein guter oder ſchlechter Leiter iſt. Ob nun erſteres oder letzteres der Fall ſey, erkennt man leicht durch das Befühlen des betreffenden Stoffes; denn ein guter Leiter fühlt ſich, wenn er wärmer iſt als die Hand, wärmer, wenn er kälter iſt als dieſe, kälter an als ein minder guter, aus dem Grunde, weil erſterer der Hand in derſelben Zeit mehr Wärme gibt oder nimmt als letzterer. Zur Beſtimmung der Leitungsfähigkeit eines guten Leiters gibt man ihm die Geſtalt eines langen, dünnen Prisma's mit quadratförmiger Baſis, und unterwirft ihn dem Verſuche, von welchem eben die Rede war. Da hat man im Zuſtande der ſtationären Temperatur für den Temperaturüberſchuß y der Stelle, deren Abſtand vom heißeſten Ende x heißt, die Gleichung $y = A.10^{-\frac{x'}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}}$, für den Temperaturüberſchuß y' einer andern, deren Abſtand von demſelben Ende x' iſt, den Ausdruck $y' = A.10^{-\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}}$, und aus beiden $\log\frac{y}{y'} = \frac{1}{m}(x - x')\sqrt{\frac{h}{k}}$. Daraus iſt nun $k = \frac{\frac{h}{m^2}(x - x')^2}{(\log y - \log y')^2}$ und weil h, m, x — x' conſtante Größen ſind, ſo iſt auch der Zähler dieſes Bruches eine ſolche. Bezeichnet man ſie mit C, ſo erhält man $k = \frac{C}{(\log y - \log y')^2}$. Hat man demnach für verſchiedene Körper y und y' beſtimmt, ſo iſt dadurch das Verhältniß der ihnen entſprechenden Werthe von k gegeben. Iſt der zu unterſuchende Körper kein ſo guter Leiter, daß man annehmen kann, alle Puncte eines und deſſelben Querſchnittes haben dieſelbe Temperatur, ſo paßt für ihn nicht die vorſtehende Gleichung, und man muß zur Ausmittlung ſeiner Leitungsfähigkeit eine andere Verſuchsmethode wählen. Zur Ausführung dieſer dient ein eigens eingerichtetes Thermometer, das Fourier, der Erfinder deſſelben, Contactthermometer nennt. Es beſteht aus einem gewöhnlichen, ſehr empfindlichen Queckſilberthermometer, deſſen Kugel in einem kegelförmigen, aus dünnem Eiſenblech verfertigten Gefäße ſteht. Der Boden dieſes Gefäßes beſteht aus weichem Leder, und der vom Thermometer übrig gelaſſene Raum iſt mit Queckſilber ausgefüllt. Zur Anwendung dieſes Inſtrumentes braucht man noch eine ebene plattenförmige Unterlage von Metall oder Marmor. Der Körper, deſſen Leitungsfähigkeit mit dieſem Inſtrumente unterſucht werden ſoll, muß die Form einer dünnen Platte haben. Beim Gebrauche wird der zu unterſuchende Körper auf die Unterlage gelegt, das Thermometer auf 46—47° C. erhitzt, und in dem Momente, wo es auf 45° herabgeſunken iſt, auf den betreffenden Körper geſtellt, und die Zeit beobachtet,

in welcher es auf beſtimmte Grade herabgeſunken iſt. Die Gleichung $z = \frac{1}{\vartheta} (log\,(t - t') - log\,(t' - t''))$ gibt dann die der Leitungsfähigkeit nahe proportionirte Größe z, wenn der Zeitabſchnitt ϑ, in welchem die Temperatur des Thermometers von t auf t' und von t' auf t'' herabſinkt, nebſt dieſen Temperaturen bekannt iſt. (Despretz in Pogg. Ann. 12. 281; Fourier ebend. 13. 327.)

412. Durch die ſo eben beſchriebenen Verfahrungsarten findet man das numeriſche Verhältniß der Leitungsfähigkeiten. Häufig braucht man aber nur zu wiſſen, welcher von den fraglichen Körpern ein beſſerer, welcher ein ſchlechterer Leiter ſey. Dahin gelangt man durch viel einfachere Mittel. Franklin und Inghenhouß haben zu dieſem Zwecke eine eigene Verſuchsweiſe ausgeſonnen. Sie gaben den zu unterſuchenden Körpern die Geſtalt gleich dicker Dráhte, befeſtigten ſie an einem Querholze wie die Zähne eines Kammes, überzogen ſie mit einer Schichte Wachs und tauchten ſie alle gleich tief in heißes Oehl. Da ſchmolz das Wachs am beſſeren Leiter weiter weg, als am ſchlechteren.

413. Durch Verſuche der vorerwähnten Art hat man ſich überzeugt, daß die Leitungsfähigkeit für die Wärme für verſchiedene Körper verſchieden iſt, daß die Metalle und Steine durchaus zu den guten, die Metalloxyde und glasartigen Stoffe hingegen, ſo wie Kohle, gepulverte Körper, Aſche ꝛc. zu den ſchlechten Leitern gehören. Faſerige Stoffe, wie Spitzen, Gewebe, Wolle, Seide ſind in der Regel ſchlechte Leiter, jedoch ſenkrecht auf die Richtung der Faſern ſchlechtere noch als nach der Länge derſelben. Temperaturerhöhung ſcheint die Leitungsfähigkeit herabzuſetzen, vielleicht weil ſie die Poren vergrößert und die Continuität ſtellenweiſe aufhebt.

Nach Despretz kommt den nachſtehenden Körpern die Leitungsfähigkeit zu, welche die beigeſetzten Zahlen ausdrücken. Gold 1000, Silber 973, Platin 981, Kupfer 898,2, Eiſen 374,3, Zink 363, Zinn 303,9, Blei 179,6, Marmor 23,6, Porcellan 12,2, Töpfererde 11,4. Nach Forbes ſteht das Platin zwiſchen Eiſen und Zinn, Antimon und Wismuth nach Blei. Aus der verſchiedenen Leitungsfähigkeit der Körper erklärt man ſich das Warmhalten unſerer Kleider, warum Bäume durch Umwinden mit Stroh, und Saaten durch eine Schneedecke vor Froſt geſchützt werden, warum hölzerne Stuben wärmer ſind als gemauerte, warum man metallene Gefäße mit hölzernen Handgriffen verſieht, warum man auf hölzernem Boden wärmer ſteht, als auf ſteinernem, warum Reiter im Winter die Steigbügel mit Tuch oder Stroh umwickeln, warum man bei ſtarker Kälte wohl Holz, aber nicht Eiſen mit der Zunge ungeſtraft berühren darf. Hierauf beruht auch die zweckmäßige Einrichtung unſerer Oefen und Kochgefäſſe nach Rumford's Angabe. (Deſſen ſchöne Verſuche in Gilb Ann 4., und in ſeinen kleinen Schriften. Weimar, 1805. Larive und Decandolle in Zeitſchr. 5. 330, und Pogg. Ann. 14. 590. Despretz in Pogg. Ann. 46. 484.)

414. In flüſſigen Körpern hängt die Fortpflanzung der Wärme, wenigſtens in dem Falle, wo die Erwärmung von unten Statt findet, nicht allein von der Leitungsfähigkeit und Temperaturdifferenz, ſon-

dern auch von der Beweglichkeit der kleinſten Theile ab; denn die wärmeren Theile ſteigen in der kälteren Maſſe in die Höhe und übertragen die Wärme von unten nach oben. Man kann die dadurch erzeugten Ströme in tropfbaren Flüſſigkeiten durch beigemengte Pulver von gleichem ſpecifiſchen Gewichte mit der Flüſſigkeit, in der Luft aber durch Körper ſichtbar machen, welche durch den aufſteigenden Strom in Bewegung geſetzt werden, wie z. B. durch papierene Windmühlflügel. Im Freien beweiſet das Zittern von Objecten, die ihr Licht durch von unten erwärmte Luft ins Auge ſenden, das Daſeyn aufſteigender Ströme. Werden Flüſſigkeiten von oben erwärmt, ſo kann ſich die Wärme nur vermöge ihrer Leitungsfähigkeit fortpflanzen, und in dieſem Falle erſcheinen alle als ſchlechte Wärmeleiter, pflanzen aber die Wärme nach demſelben Geſetze fort, welches für Metallſtäbe früher nachgewieſen worden iſt. (Despretz in Pogg. Ann. 46. 340.)

In dem Geſagten findet die langſame Erwärmung hoher Zimmer, die große Ungleichheit ihrer Temperatur am Fußboden und an der Decke, ihre Erklärung; auch begreift man daraus, warum eine Flüſſigkeit auf einem Sparherde leichter zum Sieden gebracht wird, als an einem offenen Herdfeuer; warum man in Badhäuſern das warme Waſſer unter das kalte leitet, warum bei Deſtillationen das Kühlwaſſer immer von oben ab- und von unten zugeleitet werden muß ꝛc. Hierauf beruht auch die Einrichtung der ſogenannten Luftheizung, mit deren Vervollkommnung ſich beſonders Meißner befaßt hat. Nach dieſer Methode kann die Luft in einem Gemache auf eine zweifache Art erwärmt werden. Man kann den Ofen in ein abgeſondertes, kleines, geſchloſſenes Gemach (Heizkammer) ſtellen, und die daſelbſt befindliche, ſtark erwärmte Luft in die zu beheizenden Zimmer, deren Anzahl ſich oft auf drei oder vier beläuft, durch eine etwa 4 — 5 Fuß über dem Fußboden angebrachte Oeffnung leiten, die kalte aber durch einen ähnlichen Canal, der ſich in der Nähe des Fußbodens befindet, dahin zurückführen; man erſpart dabei den Raum für den Ofen, entgeht der oft ſo läſtigen ſtrahlenden Wärme, kann die Wärme der Zimmer durch Schließen und Oeffnen der Luftlöcher nach Belieben reguliren und ſoll auch Brennmateriale erſparen. Das zweite Verfahren beſteht darin, daß man den Ofen mit einem thönernen oder auch metallenen Schirm umgibt, welcher etwa 6 Zoll vom Ofen abſteht, oder ein offenes Rohr durch ſein Inneres zieht. So wie die Luft in dem Zwiſchenraume oder in dem Rohre erwärmt iſt, ſteigt ſie in die Höhe, die kältere folgt von unten nach, und man kann ſo mit einem einzigen Ofen ein ſehr großes Gemach ziemlich gleichförmig erwärmen. (Heizung mit erwärmter Luft, von P. T. Meißner. Wien, 1827.)

415. Zu den Bewegungsgeſetzen der Wärme gehören auch jene, die man bei Verſuchen über die Abkühlung warmer Körper in kälteren Mitteln wahrgenommen hat. Solche Verſuche haben Mehrere angeſtellt, darunter müſſen aber die von Rumford und vorzüglich jene von Dulong und Petit beſonders hervorgehoben werden. Rumford hat nicht unterſchieden, ob der Körper die abgegebene Wärme durch Strahlung oder durch Mittheilung an die Luft verloren habe; er brachte ihn in ein großes Zimmer von bekannter und beſtändiger Temperatur, beſtimmte an einem damit in Verbindung ſtehenden Ther-

mometer die Temperatur nach gewiſſen Zwiſchenzeiten, und nahm daraus das Geſetz der Erkaltung ab. Bei Dulong's und Petit's Verſuchen wurden aber ſowohl die Geſetze des Wärmeverluſtes durch Strahlung, als auch die des Verluſtes durch Mittheilung beſonders beſtimmt, zugleich aber wurde auch durch vorläufige Verſuche ausgemittelt, daß eine Flüſſigkeit, wie z. B. Queckſilber, in einem Gefäße von einerlei Subſtanz eingeſchloſſen, das Grundgeſetz der Erkaltung in ſeiner vollen Reinheit und Einfachheit darſtelle, ohne durch eine mäßige Veränderung der Größe (man nahm Kugeln von 2 — 7 Centimeter Durchmeſſer), oder der Geſtalt des Gefäßes (es wurde mit Kugeln und Cylindern experimentirt) geſtört zu werden, und man daher die Geſetze der Erkaltung ſolcher Körper als den Ausdruck der Erkaltung der Molecüle betrachten könne. Bei dem eigentlichen Verſuche wurde ein Queckſilberthermometer bis zu einer beſtimmten Temperatur erwärmt, und hierauf ſchnell in einen Ballon von Kupfer gegeben, der zur Vermeidung aller Einwirkung durch Strahlung innerlich mit Lampenruß geſchwärzt war und ſich in einem Waſſerbade von bekannter Temperatur befand. Um die Geſetze der Erkältung durch Strahlung zu erfahren, wurde im Ballon die Luft möglichſt verdünnt und ſelbſt der Reſt derſelben in Rechnung gebracht, das erwähnte Thermometer hineingeſetzt, ſo daß ſeine Kugel des Ballons Mittelpunct einnahm, und endlich der Stand des Thermometers nach gleichen Zwiſchenzeiten beobachtet. Der Quotient aus der Temperaturänderung und der dazu verwendeten Zeit gab die Abkühlungsgeſchwindigkeit an. Auf gleiche Weiſe wurde verfahren, um die Erkaltung durch Mittheilung auszumitteln, nur mit dem Unterſchiede, daß der Ballon mit irgend einer trockenen Luftart gefüllt war, und daß man von der geſammten Erkaltung nach der Hand die durch Strahlung bewirkte abzog. Mittelſt ſolcher Verſuche fand man folgende Reſultate: 1) Nicht alle Körper erkalten gleich ſchnell, ſelbſt wenn ſie eine gleiche Form, Größe und Oberfläche haben. 2) Die Erkaltung in der Luft geht deſto ſchneller vor ſich, je größer der Temperaturunterſchied zwiſchen dem erkaltenden Körper und ſeinem Mittel iſt; doch ſtehen die Erkaltungsgeſchwindigkeiten nicht, wie Newton meinte, im geraden Verhältniſſe mit den Temperaturunterſchieden, nähern ſich aber dieſem Verhältniſſe deſto mehr, je geringer der genannte Unterſchied iſt. 3) Im leeren Raume von beſtändiger Temperatur läßt ſich die Erkaltungsgeſchwindigkeit durch die Formel $M(a^t - 1)$ ausdrücken, wo t die Temperaturdifferenz zwiſchen dem Erkaltungsorte und dem erkaltenden Körper, M und a beſtändige Größen ſind, von denen $a = 1{,}0077$ iſt. Die Erkaltungsgeſchwindigkeit nimmt daher ab, wie die Glieder einer geometriſchen Progreſſion, vermindert um eine beſtändige Größe, während die Temperaturüberſchüſſe eine arithmetiſche Reihe darſtellen. 4) Die Erkaltung, welche ein Gas für ſich, abgeſehen von der Ausſtrahlung, bewirkt, iſt völlig unabhängig von der Beſchaffenheit der Oberfläche der Körper, und hängt bloß von der Temperaturdifferenz zwiſchen dem Gaſe und dem erkaltenden Körper und von der Spannkraft des Gaſes ab. Dieſe

Erkaltungsgeſchwindigkeit läßt ſich durch die Formel $m t^b$ ausdrücken, in welcher t die Temperaturdifferenz, $b = 1{,}233$ bedeutet, m aber eine Größe iſt, welche von der Natur des Gaſes und von den Dimenſionen des erkaltenden Körpers abhängt. Sie ändert ſich daher in einer geometriſchen Progreſſion, wenn die Temperaturüberſchüſſe auch eine geometriſche bilden. Die geſammte Abkühlung wird demnach durch $M(a^t - 1) + m t^b$ ausgedrückt.

Viertes Kapitel.

Wirkungen der Wärme.

416. Es iſt ſchon früher erwähnt und ſogar bewieſen worden, daß die Wärme auf die Körper eine eigenthümliche Wirkung ausübe, welche darin beſteht, daß ſie deren Volumen vergrößert und ihren Aggregationszuſtand ändert. Hier ſollen nun die Geſetze dieſer Wirkungen erörtert und der Zuſammenhang zwiſchen der wirkenden Wärmemenge und der Größe der Wirkung näher beſtimmt werden.

A. Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

417. Die Wärme ſteigert die abſtoßende Kraft der kleinſten Körpertheile. Im Inneren der Maſſe hebt ſich dieſer Zuwachs für jedes Theilchen auf, aber die an der Oberfläche liegenden Theilchen erleiden einen Druck von innen nach außen, welchem zu Folge ſie ſich von ihren Nachbartheilchen entfernen, und indem ſie dadurch auch für dieſe die Gleichheit zwiſchen Zug und Gegenzug aufheben, beſtimmen ſie auch letztere zur Bewegung von einander. So kommt es, daß alle Theile durch die Wärme von einander entfernt werden, und der Körper ein größeres Volum einnimmt. Man kann ſich demnach die Wirkung der Wärme als einen von innen nach außen auf die Köpertheile gerichteten und den Cohäſionskräften entgegen wirkenden Druck vorſtellen. Das Geſetz der Ausdehnung der Körper durch die Wärme muß daher durch die Vertheilung und Größe der Cohäſionskraft in denſelben beſtimmt werden. Körper, in denen die Cohäſionskräfte gleich vertheilt ſind, werden auch beim Erwärmen nach allen Richtungen gleich ausgedehnt werden, und die Theile, welche vor der Erwärmung in einer Kugelfläche lagen, werden ſich auch nach der Erwärmung in einer ſolchen befinden. Anders muß es ſich mit Körpern verhalten, in denen die Cohäſionskräfte nach verſchiedenen Richtungen verſchieden vertheilt ſind. Da werden die bei einer beſtimmten Temperatur in einer Kugelfläche liegenden Theilchen ſich bei einem höheren Wärmegrade in einer andern Fläche befinden. Die Erfahrung lehrt, daß letzteres bei einigen kryſtalliſirten Körpern der Fall ſey.

418. Bei feſten Körpern, die ſich nach allen Richtungen gleich ſtark ausdehnen, beſtimmt man unmittelbar meiſtens nur die lineare Ausdehnung, welche eine beſtimmte Temperaturerhöhung erzeugt, und

berechnet aus dieſer die Vergrößerung des Körperinhaltes. Man bedient ſich dazu eigener Inſtrumente, die man, wiewohl uneigentlich, Pyrometer nennt. Fig. 371 ſtellt ein ſolches Inſtrument vor. Der zu unterſuchende Körper A B wird an einem Ende B feſt eingeſpannt, am andern A hingegen an den kürzeren Arm eines Winkelhebels a b c angeſtemmt, deſſen längerer Arm b c über einer eigenen Scale ſpielt, und darauf gleichſam die Verlängerung der Stange A B vergrößert darſtellt (Nasmyth in Pogg. Ann. 9. 608). Die Volums- oder kubiſche Ausdehnung iſt das Dreifache der linearen. Heißt nämlich die Dimenſion, um die es ſich handelt, bei der urſprünglichen Temperatur a, das Volum des betreffenden Körpers v, ſeine lineare, auf dieſe Dimenſion bezogene Ausdehnung durch die Erwärmung μa, wo μ einen echten, meiſtens ſehr kleinen Bruch bedeutet, und die Zunahme des Volums ρv; ſo iſt offenbar

$$v : v + \rho v = a^3 \; (a + \mu a)^3 = a^3 : a^3 (1 + 3\mu + 3\mu^2 + \mu^3),$$

oder weil man μ^3, μ^2 gegen μ vernachläßigen und mit v und a^3 dividiren kann,

$$1 : 1 + \rho = 1 : 1 + 3\mu, \text{ mithin } \rho = 3\mu.$$

Bei kryſtalliſirten Körpern, die ſich nach verſchiedenen Richtungen ungleich ausdehnen, erkennt man das Geſetz der Ausdehnung nach verſchiedenen Richtungen, indem man bei verſchiedenen Temperaturen ihre Flächen- und Körperwinkel mißt. Zwillingskryſtalle und nach Art der Zwillinge durch einen paſſenden Kitt verbundene Kryſtalle mit geſchliffenen Flächen geben bei einer beſtimmten Temperatur, bei welcher nämlich die ſpiegelnde Fläche eine Ebene bildet, nur ein Bild eines gegenüberſtehenden Objectes. Bei der Erwärmung ſchließen die Flächen der beiden Kryſtalle einen Winkel ein, und man ſieht demnach ſtatt eines Bildes deren zwei, und kann von ihrer Diſtanz auf den Neigungswinkel der Spiegel, und hiedurch auf das Geſetz der Ausdehnung in der Wärme ſchließen. (Mitſcherlich in Pogg. Ann. 41. 213.)

419. Die Ausdehnung der feſten Körper durch die Wärme iſt weder für verſchiedene Körper und dieſelbe Temperaturänderung gleich groß, noch für denſelben Körper den verſchiedenen Wärmegraden proportionirt. Indeß kann man doch für Temperaturen, welche innerhalb des Fundamentalabſtandes des Thermometers liegen, die Ausdehnung eines Körpers ſeiner Temperatur proportional ſetzen. Bei höheren Temperaturen wächſt die Ausdehnung mehr als im Verhältniſſe zur Temperatur; nur der Schwefel macht hievon eine Ausnahme und bleibt in ſeiner Ausdehnung gegen die Wärme zurück (Despretz in Pogg. Ann. 46. 134). Unkryſtalliſirte Körper von gleichförmiger Dichte und kryſtalliſirte, welche in das reguläre (teſſulariſche) Syſtem gehören, dehnen ſich nach allen Richtungen gleich ſtark aus; ungleichförmig dichte hingegen und ſolche kryſtalliſirte, die in ein anderes Syſtem gehören, erleiden durch Erwärmung nach verſchiedenen Richtungen auch verſchiedene Ausdehnungen. Solche, die ins rhomboedriſche oder pyramidale Syſtem gehören, beſitzen nach der Richtung der Hauptaxe eine andere Ausdehnung, als nach jener der Nebenaxen, und zwar eine

größere, wenn ſie repulſiv auf das Licht wirken, und eine kleinere, wenn dieſe ihre Wirkung attractiv iſt; nach allen Nebenaxen werden ſie jedoch gleich ausgedehnt. Kryſtalle der übrigen Syſteme beſitzen nach jeder Axe eine andere Ausdehnung.

Nach Mitſcherlich verändern ſich die ebenen Winkel eines Kalkſpathrhomboeders bei einer Temperaturerhöhung von 80° R. um 8½ M., und zwar werden alle ſtumpfen Winkel kleiner, die complementären ſpitzigen größer; die Veränderungen ſtehen mit der Temperatur in geradem Verhältniſſe. Die Ausdehnung von 0° — 100° C. nach der Richtung der Hauptaxe iſt um 0,00342 größer als nach den andern Axen. An manchem Kryſtalle werden aber bei der Erwärmung die ſtumpfen ebenen Winkel größer und ihre Complementwinkel kleiner (Pogg. Ann. 1. 125; 10. 137). Nach Fresnel kann man ſich von der ungleichen Ausdehnung der Gipskryſtalle nach verſchiedenen Richtungen auf folgende Weiſe überzeugen: Man löſe von einem ſolchen Kryſtalle ſehr dünne Blättchen ab, und leime ſie ſo auf einander, daß ſich ihre Axen rechtwinklig kreuzen, mit einem Leim, der in der Wärme weich wird, und beim Erkalten erhärtet. Erwärmt man ein ſolches Doppelplättchen und läßt es hierauf wieder kalt werden, ſo erſcheinen beide Theile deſſelben auf eine Weiſe gekrümmt, aus der man abnehmen kann, nach welchen Richtungen in der Ausdehnung der Plättchen die größte Differenz herrſche. Es iſt klar, daß dieſem nach die bei der doppelten Brechung (276) aufgefundenen Größen ſich nur auf eine beſtimmte Temperatur (die gewöhnliche Lufttemperatur) beziehen, bei viel höheren oder minderen Wärmegraden aber anders ausfallen müſſen (282).

420. Neueſtens hat man die Ausdehnung der Körper durch die Wärme mit jener ihrer Atomenvolume verglichen und einige ſehr intereſſante Reſultate erhalten, die wohl noch einer weiteren Beſtätigung bedürfen, aber hier doch nicht unerwähnt bleiben können. Es ſcheint ſich zu ergeben, daß die Ausdehnungen jener chemiſch einfachen Körper durch die Wärme, deren Atomvolume in einfachen Verhältniſſen ſtehen, auch ſolche Verhältniſſe befolgen; ferner daß die Ausdehnung eines zuſammengeſetzten Körpers gleich ſey der Summe der Ausdehnungen ſeiner Beſtandtheile, letztere in jenen Condenſationszuſtänden genommen, in denen ſie ſich in der fraglichen Verbindung befinden. Man hat ſogar eine Relation zwiſchen der Aenderung der Atomenvolume und jener der Axen kryſtalliſirter Körper nachzuweiſen geſucht. (Neumann in Pogg. Ann. 27. 240. Schröder in Pogg. Ann. 50. 553; 52. 282. Kopp ebend. 52. 262.)

Ausdehnung einiger feſten Körper von 0° — 100° C..

Spiegelglas	$\frac{1}{1122}$	Kupfer	$\frac{1}{582}$
Flintglas	$\frac{1}{1232}$	Meſſing	$\frac{1}{533}$
Platin	$\frac{1}{1167}$	Stahl	$\frac{1}{480}$
Spießglanz	$\frac{1}{923}$	Wismuth	$\frac{1}{719}$
Gußeiſen	$\frac{1}{901}$	Silber	$\frac{1}{524}$
Weiches Schmiedeeiſen	$\frac{1}{819}$	Zinn	$\frac{1}{460}$
Weicher Eiſendraht	$\frac{1}{810}$	Blei	$\frac{1}{351}$
Gold	$\frac{1}{682}$	Zink	$\frac{1}{340}$

421. Die Verſchiedenheit der Ausdehnung feſter Körper für denſelben Temperaturunterſchied begründet die Möglichkeit, Körper ſo mit einander zu verbinden, daß ſie bei beſtimmten Temperaturänderungen beſtimmte Bewegungen annehmen, oder unverändert dieſelbe Länge beibehalten; auch viele Vorſichten bei der Verbindung verſchiedener Körper mit einander werden dadurch nothwendig gemacht. Die ungemeine Kraft, mit der ſich ſolche Körper ausdehnen, wenn ſie erwärmt werden, und ſich wieder zuſammenziehen, wenn man ſie abkühlt, läßt ſich oft vortheilhaft benützen.

Auf der Verbindung zweier ſich ungleich ausdehnenden Metalle beruhen Breguet's und Holzmann's Metallthermometer. Breguet's Thermometer (Fig. 372) beſteht aus drei zuſammengeſchraubten, ſchraubenförmig gewundenen Plättchen von Silber, Gold und Platin, die am oberen Ende A befeſtiget, und am unteren B mit einem Zeiger verſehen ſind, der über einer kreisrunden Scale mit der gewöhnlichen Thermometertheilung ſpielt. Holzmann's Thermometer (Fig 373) hat die Form einer Taſchenuhr. Der eigentliche thermometriſche Theil deſſelben iſt ein bogenförmiges Doppelplättchen A aus Eiſen und Meſſing, oder aus Platin und Meſſing, an welchem letzteres Metall den inneren Theil abgibt. Dieſes iſt an einem Ende am Gehäuſe befeſtiget, am andern aber mit einem Rechen a in Verbindung, der mit ſeinen Zähnen in ein Getriebe eingreift, welches an der Axe eines Zeigers b angebracht iſt. Der Zeiger ſpielt auf einer mit der Thermometerſcale verſehenen Platte. — Auf der Ungleichheit der Ausdehnung verſchiedener mit einander verbundenen oder verſchieden erwärmten Körper beruht das Krachen eiſerner geheizter Oefen, metallener Dächer oder des Eiſes an ſtrengen Wintertagen; das Zerreißen eiſerner Klammern in Gebäuden, die man bei großer Kälte angebracht hat, ohne ihnen einen Spielraum zu geſtatten; die Nothwendigkeit bei metallenen Waſſer- oder Dampfleitungsröhren die ſogenannten Ausgleichungsröhren anzubringen, an metallenen Keſſeln und großen Pfannen ringsum einen Zwiſchenraum zu laſſen; das Zerſpringen gläſerner Gefäße bei ſchneller Erhitzung oder Erkältung; das Abſchälen oder Zerſpringen der Glaſur an Gefäßen bei ſchnellen Temperaturänderungen. Die Kraft, mit welcher ſich erwärmte Körper ausdehnen, iſt im Stande, ungeheure Hinderniſſe zu überwinden. Man kann durch ſie die Kraft ſtarker Preſſen erſetzen. Eben ſo verhält es ſich mit der Energie, womit ſie ſich beim Erkalten zuſammenziehen. Molard hat dadurch ſtark gewichene Mauern in ihre normale Lage zurückgeführt.

422. Die Ausdehnung tropfbarer Flüſſigkeiten durch die Wärme läßt ſich unmittelbar dadurch beſtimmen, daß man ſie zum Füllen von Thermometern braucht, welche eine verhältnißmäßig ziemlich große Kugel haben, deren Rauminhalt gegen den der Röhre genau bekannt iſt. Wird ein ſolches Thermometer verſchiedenen Temperaturen ausgeſetzt, und für jede derſelben das Volum der Flüſſigkeit beſtimmt, ſo hat man die Aufgabe gelöſt. Daß man dabei auf die Ausdehnung des Gefäßes Rückſicht nehmen und ihren Einfluß in Rechnung bringen müſſe, verſteht ſich von ſelbſt. Man kann zu demſelben Ziele auch dadurch gelangen, daß man die Dichte der Flüſſigkeit bei mehreren Temperaturen nach den (I. 201 und 204) angegebenen Methoden ſucht, und daraus auf ihr Volum ſchließt. Wie die Ausdehnung der

Gaſe durch die Wärme unterſucht wird, und was hierüber die Erfahrung lehrt, iſt bereits S. 174 u. f. geſagt worden.

423. Durch ſolche Verſuche hat man ſich überzeugt, daß jede tropfbare Flüſſigkeit ſich nach allen Richtungen gleich ſtark ausdehne und daß jeder bei einerlei Temperaturänderung eine beſondere Ausdehnung entſpreche, mithin ſich keine durchaus der Temperatur proportional ausdehne. In der Regel kann man aber doch für Temperaturen, die weit von denen entfernt ſind, bei welchen die Flüſſigkeiten ihren Aggregationszuſtand ändern, eine Proportionalität zwiſchen der Ausdehnung und dem ihr entſprechenden Wärmegrade annehmen. In der Nähe ihres Siedpunctes dehnen ſie ſich in einem größeren Verhältniſſe aus, als die Temperatur wächſt; in der Nähe der Temperatur, bei der ſie feſt werden, verhalten ſich aber nicht alle auf gleiche Weiſe. Einige, z. B. Queckſilber, ziehen ſich beim Erkalten immer mehr zuſammen, und dehnen ſich auch beim Erwärmen ſtärker aus, als bei höheren Temperaturen; bei anderen, wie z. B. beim Schwefel, findet das Gegentheil Statt; ja einige haben gar oberhalb ihres Eispunctes die größte Dichte, und dehnen ſich daher bei weiterer Erkaltung unter dieſen Punct aus, ſtatt ſich zuſammenzuziehen. Dem Waſſer kommt dieſe merkwürdige Eigenſchaft zu, wie aus der Tabelle S. 152 zu erſehen iſt. Daſſelbe hat nach Stampfer die größte Dichte bei 3° R. = 3,75 C., nach Hallſtröm bei 3°,90 C. mit einem wahrſcheinlichen Fehler von + 0°,04. (Jahrb. des polytechn. Inſtit. in Wien. B. 16. Muncke, über die Ausdehnung tropfbarer Flüſſigkeiten durch die Wärme in den *Mém. presentés à l'Acad. Imp. de St. Pétersbourg. Tom. I.* Die Reſultate dieſer Verſuche enthält auch Zeitſchr. 10. 366. Hallſtröm in Pogg. Ann. 1. 129; 34. 220. Despretz ebend. 41. 58.)

Nachſtehende Tabelle enthält das Volum einiger Flüſſigkeiten für die nebenſtehenden Temperaturen nach Muncke's Verſuchen:

Temp. C.	Alkohol.	Schwefeläther.	Ammoniak.	Salzſäure.	Salpeterſäure.	Schwefelſäure.
— 20	0,981	—	—	0,988	0,978	0,991
— 10	0,990	0,985	0,997	0,994	0,990	0,995
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
+ 10	1,010	1,015	1,003	1,006	1,010	1,006
20	1,021	0,030	1,007	1,011	1,021	1,011
30	1,033	0,046	1,012	1,017	1,032	1,017
40	1,044	1,064	1,017	1,022	1,042	1,033
50	1,056	—	—	—	1,054	1,029
60	1,068	—	—	—	1,065	1,035

Eine wäſſerige Löſung von ſalzſaurem Natrum mit dem ſpecifiſchen Gewichte 1,010 hat das Maximum der Dichte bei 1°,5 R. Salzwaſſer von 1,027 ſpecifiſchem Gewichte hat nach Erman (Pogg. Ann. 12. 463) kein ſolches Maximum; nach Despretz haben aber alle weingeiſtigen, ſalzigen, ſauren und alkaliſchen Löſungen im Waſſer ein ſolches. Meerwaſſer von 1,0275 ſpec. Gewichte fand er bei — 3°,67 C. am dichteſten; Kochſalzſole von 0,000123 Dichte bei 1°,19 C., von 0,0246 Dichte bei

— 1°,69, von 0,037 Dichte bei — 4°,75, und von 0,0741 Dichte bei — 16° C. Chlorkalcium von 0,0375 Dichte zeigte ſich bei — 2°,43, ſolches von 0,0741 Dichte bei — 10°,4 C. am dichteſten. Uebrigens ſinkt die Temperatur des Maximums der Dichte mit zunehmender Concentration der Löſung ſchneller als der Frierpunct derſelben. Aus dieſem Verhalten des Waſſers erklärt es ſich, warum tiefe Wäſſer ſo ſelten gefrieren, warum das Gefrieren erſt eintritt, wenn die Temperatur der Luft ſchon längere Zeit hindurch unter 0° C. ſtand. Ob einer Flüſſigkeit ein Maximum der Dichte zukomme oder nicht, erfährt man am leichteſten, wenn man ſie erwärmt, hierauf abkühlen läßt, und die Abkühlungsgeſchwindigkeit beobachtet. Dieſe iſt immer in der Nähe des Maximums der Dichte ein Minimum. — Vergleicht man die Ausdehnung eines Körpers in ſeinem feſten Zuſtande mit der in ſeinem tropfbaren, ſo wie es Erman für mehrere Körper gethan hat; ſo findet man, daß ſie für dieſelbe Temperaturänderung im flüſſigen Zuſtande größer iſt, als im feſten; doch ſcheint es zwiſchen den Ausdehnungen in beiden Zuſtänden einen Zuſammenhang zu geben. So z. B. dehnt ſich das Roſſe'ſche Metallgemiſche nach Erman von 0°—30° R., wo es feſt iſt, und von 80° an, wo es flüſſig iſt, nach demſelben Geſetze aus. Auch der Phosphor befolgt bei ſeiner Ausdehnung im feſten und flüſſigen Zuſtande dasſelbe Geſetz, und nur während des Schmelzens erleidet er eine plötzliche Ausdehnung (Pogg. Ann. 9. 557; 41. 58). — Die Ausdehnung der Gaſe und Dünſte hängt mit ihrer Expanſivkraft ſo innig zuſammen, daß alles, was über dieſe geſagt wurde, auch von jener gilt, und daher nicht beſonders dargeſtellt zu werden braucht.

424. Die abſtoßende Kraft der Wärme wirkt nicht bloß der Anziehung homogener Körpertheile entgegen, ſondern auch jener, die unter heterogenen Maſſen Statt findet und die Adhäſion begründet. Daher kommt es, daß Waſſer, welches bei der gewöhnlichen Temperatur ein Metall, z. B. einen Silberlöffel, leicht benetzt, in einem ſolchen bedeutend erhitzten, zu einem Tropfen zuſammenläuft und gar keine Adhäſion zum Metalle zeigt. Vielleicht hat Perkin's Erfahrung, nach welcher Waſſer aus einem durchlöcherten, aber ſtark erhitzten eiſernen Behälter nicht ausläuft, etwa ſo wie Queckſilber in einem Haarſiebe, ohne auszulaufen, herumgetragen werden kann, einen gleichen Grund. (Buff in Pogg. Ann. 25. 591. Boutigny ebend. 51. 130. Emsmann ebend. 51. 444.)

B. Aenderung des Aggregationszuſtandes durch die Wärme.

425. In einem feſten Körper ſteht die anziehende Kraft der Theile mit der abſtoßenden der Wärme in ſtabilem Gleichgewichte. Sind aber dieſe Theile durch die Wärme ſo weit von einander entfernt worden, daß dieſes nicht mehr weiter geſchehen kann, ohne zwiſchen den einander nächſten Theilen der Abſtoßung das Uebergewicht zu verſchaffen; ſo ſind ſie an ihrem Schmelzpuncte, und die geringſte Steigerung ihrer Temperatur erzeugt den Uebergang des feſten Zuſtandes in den tropfbar flüſſigen, d. h. ein Schmelzen. Durch Dehnen eines Körpers mittelſt einer mechaniſchen Kraft kann man kein Schmelzen bewirken, weil dadurch nicht eine Entfernung aller Theile von einander erzeugt werden kann, ja vielmehr einige von einander entfernt, einige einan-

der mehr genähert werden. In guten Wärmeleitern geht das Schmelzen, wenn es einmal an einer Stelle begonnen hat, raſch vorwärts, und erſtreckt ſich durch die ganze Maſſe, wenn ſolche Körper überhaupt der gehörigen Temperatur ausgeſetzt ſind; bei ſchlechten Leitern hingegen dauert es eine geraume Zeit, bis die ganze Maſſe geſchmolzen iſt. Einige Körper brauchen dazu nur eine mäßige Temperatur, wie z. B. Wachs, andere eine ungemein hohe, wie z. B. Gold, Eiſen, Platin, Iridium, ja ſelbſt derſelbe Körper ſcheint einen verſchiedenen Schmelzpunct zu haben, je nachdem er kryſtalliſirt oder amorph iſt; ja man hat Beiſpiele, daß ein Stoff in verſchiedener Kryſtallform auch verſchiedene Schmelzpuncte hat (Wöhler in Erdmann's Journal. 25. 50). Die Kohle ſcheint unter allen die höchſte Temperatur zum Schmelzen zu erfordern. Manche Körper, wie z. B alle organiſchen und auch viele unorganiſche, erleiden eher eine chemiſche Zerſetzung, als ſie die zum Schmelzen nöthige Temperatur erlangt haben; bei einigen kann man der Zerſetzung dadurch vorbeugen, daß man ſie unter einem ſehr hohen Drucke erhitzt. So iſt es Hall gelungen, ſelbſt Marmor zu ſchmelzen.

Merkwürdig iſt es, daß nach Schröders Beobachtung jedes Atomvolum eines ſchwerer ſchmelzbaren Metalles immer eine geringere Ausdehnung durch die Wärme erleidet, als jenes eines leichter ſchmelzbaren. (Schröder in Pogg. Ann. 52. 262.)

426. Während ein Körper ſchmilzt, nimmt er keine höhere Temperatur an, und eine Vermehrung des Wärmezufluſſes kann nur eine Beſchleunigung des Schmelzens, keineswegs aber eine Temperaturerhöhung hervorbringen. So behält Eis in dem wärmſten Zimmer die Temperatur von 0° C. Die zufließende Wärme übernimmt die Function der Formänderung des Körpers, und hört auf zu erwärmen. Man nennt ſie gebundene Wärme, und ſagt: beim Schmelzen der Körper wird Wärme gebunden. Dieſe gebundene Wärme iſt es, welche die Größe der zwiſchen den einzelnen Körpertheilchen herrſchenden abſtoßenden Kraft ſo weit ſteigert, daß ſolche Theile, die ohne den Zutritt der Wärme auf einander anziehend wirkten, nun bei derſelben Entfernung eine abſtoßende Wirkung auf einander ausüben (vergl. I. 45). Die Quantität der beim Schmelzen einer Maſſe gebundenen Wärme iſt nach der Natur der Körper verſchieden. Im Allgemeinen ſtehen die latenten Wärmen nahe im verkehrten Verhältniſſe der Atomengewichte. (Despretz in Pogg. Ann. 52. 177.)

Um die Wärmemenge (Flüſſigkeitswärme) zu finden, welche beim Schmelzen der Körper gebunden wird, bedient man ſich am beſten der Miſchungsmethode. Aus dem früher Geſagten iſt bekannt, daß die ſpecifiſche Wärme des Waſſers $^1/_{75}$ beträgt. Dieſes Reſultat gibt auch die Flüſſigkeitswärme des Waſſers an. Man kann es zu dieſem Behufe ſo ausſprechen: Eine Eismaſſe bindet beim Schmelzen ſo viel Wärme, daß man damit eine gleiche Waſſermaſſe von 0° C. bis 75° C. erwärmen könnte. Verſuchen zu Folge beträgt die Flüſſigkeitswärme beim Wachs 97°,5, beim Spermacet 80°, beim Zinn 13,8, beim Blei 5°,8 C. (*Ann. de Chim.* 48. 363.)

427. Wenn einem tropfbaren Körper bis zu einem beſtimmten Grade Wärme entriſſen wird, ſo nimmt er wieder den feſten Zuſtand an. Manche Körper gehen unmittelbar vom tropfbaren in den feſten über, manche geſtehen zuerſt, und werden hierauf erſt feſt. Dabei kryſtalliſiren faſt alle, wenn die dazu erforderlichen Bedingungen vorhanden ſind, und nehmen daher faſt immer ein größeres Volum ein (Bellani in Zeitſchr. 3. 481. Marx in Schweigg. J. 58. 454), indem die Theile nun nicht mehr in jeder Lage neben einander im Gleichgewichte ſtehen, ſondern ſich an beſtimmten Puncten ſtärker anziehen, als an anderen. Die Temperatur, bei der ſie feſt werden, ſtimmt in der Regel mit derjenigen überein, bei welcher ſie ſchmelzen; jedoch kann man einen flüſſigen Körper in einem enghalſigen Gefäße bei hinreichender Ruhe weit über den gewöhnlichen Gefrierpunct erkälten, ohne daß er feſt wird. So läßt ſich Waſſer bei — 10° und ſelbſt bis — 20° C. bloß vermöge ſeiner Trägheit tropfbar erhalten, aber die geringſte Erſchütterung bringt es dann zum Erſtarren.

428. Die Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wurde, wird beim Gefrieren wieder frei. Darum behält Waſſer, das langſam friert, während des ganzen Prozeſſes ſtets die Temperatur von 0° C.; ja wenn es noch bei einigen Graden unter dem Eispuncte flüſſig erhalten worden iſt, ſo ſteigt ſeine Temperatur im Augenblicke des Gefrierens ſchnell auf 0° C. Noch auffallender zeigt dieſes eine geſättigte wäſſerige Glauberſalzlöſung Wird dieſe bei der Siedhitze bereitet, dann luftdicht eingeſchloſſen und an einen ruhigen Ort gebracht, ſo erhält ſie ſich im tropfbaren Zuſtande. So wie man ſie aber erſchüttert oder mit einem feſten Körper berührt, wird die Maſſe augenblicklich feſt, und es tritt eine ſehr merkliche Erwärmung ein. Etwas Aehnliches zeigt ſich beim Feſtwerden des ſalzſauren Kalkes (Scholz, Anfangsgründe der Phyſik. 5. Aufl. S. 466). Aus dem beim Schmelzen und Feſtwerden der Körper Statt habenden Binden und Freiwerden der Wärme erklären ſich viele merkwürdige Phänomene: z. B. die fortwährende Kälte, welche man empfindet, wenn man Eis oder Schnee in die Hand nimmt; warum eine bleierne Kugel, in Papier gewickelt, über einer Kerzenflamme ſchmilzt, ohne daß das Papier angezündet wird ꝛc.

429. Wenn eine tropfbare Flüſſigkeit bis zu einem gewiſſen Grade erwärmt wird, ſo tritt jenes Phänomen ein, welches man das Sieden nennt, und wobei die Flüſſigkeit die Dampfform annimmt. Wird, wie es gewöhnlich geſchieht, die Erwärmung von unten angebracht; ſo macht ſich zuerſt die Luft von der Flüſſigkeit los, ſetzt ſich an die Wände in Geſtalt kleiner Bläschen an, und entfernt ſich endlich. Hierauf ſieht man Dampfbläschen vom Boden aufſteigen, doch verſchwinden ſie wieder in den oberen, noch nicht hinreichend erhitzten Schichten, ſie verurſachen dadurch jenes Geräuſch, das dem Sieden vorhergeht, und erwärmen zugleich die obere Flüſſigkeit. Iſt endlich die ganze Maſſe bis zum gehörigen Grade erwärmt, ſo ſteigen die Dampfbläschen bis an die Oberfläche und verurſachen jenes Wallen und Bla-

ſenwerfen, welches das Sieden charakteriſirt. Flüſſigkeiten, die ſich in der Hitze mit einer Haut überziehen, wie z. B. Milch, ſchwellen beim Sieden an, weil die Dämpfe dieſe Haut nicht gleich zu durchbrechen vermögen. Eine Flüſſigkeit, die in ihrem Gefäße einen kugelförmigen Tropfen bildet, und es daher nur an wenigen Puncten berührt, kann, ſo lange ſie die Kugelgeſtalt nicht verliert, nicht die zum Sieden nöthige Hitze vom Gefäße bekommen, um ſo mehr, als ſie wegen ihrer großen Oberfläche viel Wärme verliert. Daher kommt es, daß Waſſer in einem ſtark erhitzten Silberlöffel erſt zu ſieden anfängt, wenn die Temperatur des Löffels bis auf einen gewiſſen Grad herabgeſunken und ſeine Adhäſion zum Metalle wieder hergeſtellt iſt. (Leidenfroſt'ſcher Verſuch.)

430. Die Temperatur, bei welcher eine Flüſſigkeit ſiedet, hängt von ihrer Natur und von dem auf ihr laſtenden Drucke ab. So z. B. braucht Oehl eine höhere Temperatur zum Sieden, als Waſſer, dieſes eine höhere als Weingeiſt, dieſer eine höhere als Schwefeläther. Die da ſich bildende ausdehnſame Flüſſigkeit wollen wir vorzugsweiſe Dampf nennen, zum Unterſchiede von der unter dem Siedpuncte entſtehenden, die Dunſt heißen mag. Die beim Sieden entſtehenden Dämpfe müſſen eine Spannkraft haben, welche dem auf der Flüſſigkeit laſtenden Drucke gleich iſt, und darum fordert eine Flüſſigkeit zum Sieden eine deſto höhere Temperatur, unter einem je größeren Drucke ſie ſteht. Darum ſiedet z. B. Waſſer in verdünnter Luft, unter dem Recipienten der Luftpumpe oder auf hohen Bergen bei einer geringeren Temperatur, als in Luft von gewöhnlichem Drucke; darum kann man Schwefeläther ſchon bei der gewöhnlichen Temperatur in ſtark verdünnter Luft zum Sieden bringen, und aus dieſem Grunde kocht das Waſſer im Pulshammer (einer luftleeren, Waſſer enthaltenden Glasröhre) ſchon, wenn man ihn mit der warmen Hand berührt. Wenn ſich die aus einer ſiedenden Flüſſigkeit aufſteigenden Dämpfe nicht entfernen können, ſo addirt ſich ihre Spannkraft zum atmoſphäriſchen Drucke, und bewirkt ſo einen verſtärkten Druck auf die Flüſſigkeit. Die nun entſtehenden Dämpfe müſſen eine dieſem Drucke gleiche Spannkraft haben, welche ſie nur von einer erhöhten Temperatur erhalten können. Daher kommt es, daß Waſſer im Papin'ſchen Digeſtor eine zum Schmelzen des Zinnes hinreichende Temperatur annehmen kann, und daß es in einem Gefäße, welches man während des Siedens der Flüſſigkeit luftdicht geſchloſſen hat, gleich zu ſieden aufhört, aber ſelbſt von der Wärmequelle entfernt, wieder zu ſieden beginnt, wenn man die Dämpfe durch Erkältung verdichtet. Die in den unteren Schichten einer ſiedenden Flüſſigkeit entſtehenden Dämpfe haben, des größeren auf ihnen laſtenden Druckes wegen, eine größere Spannkraft, als die weiter aufwärts entſtandenen, und nehmen beim Aufſteigen eine dem verminderten Drucke entſprechende Dichte, Spannkraft und Temperatur an. An der Oberfläche der Flüſſigkeit angelangt, iſt ihre Spannkraft dem Drucke der Atmoſphäre gleich, und wird demnach durch den

jeweiligen Barometerſtand gemeſſen. Die Temperatur des austretenden Dampfes, oder was daſſelbe iſt, jene der oberſten ſiedenden Schichte iſt der genaue Siedpunct unter dem herrſchenden Luftdrucke. Der Siedpunct einer Flüſſigkeit wird durch chemiſche Verbindung mit einer andern, die erſt bei einer höheren Temperatur ſiedet, erhöht. So z. B. ſiedet Waſſer in Verbindung mit Schwefelſäure ſchwerer als reines Waſſer, Weingeiſt mit Waſſer gemiſcht, ſchwerer als Alkohol; auch bei allen wäſſerigen Salzauflöſungen liegt der Siedpunct höher als bei reinem Waſſer, aber die beim Sieden entſtandenen Dämpfe haben dieſelbe Temperatur und Spannkraft, wie die aus dem reinen Waſſer entwickelten, vorausgeſetzt, daß ſie reine Waſſerdämpfe ſind (Rudberg in Pogg. Ann. 34. 257, und Prechtl in ſeiner technol. Encyklopädie, B. 3. 507). Merkwürdig iſt es, daß eine Flüſſigkeit durch einen gepulverten oder poröſen Körper, z. B. durch ein Stück weiches Holz, zum Sieden kommt, wenn es auch noch nicht die hiezu ohne Beihilfe eines ſolchen Mittels nöthige Temperatur beſitzt. Daß ſich mit der Verflüchtigung eines Beſtandtheiles beim Sieden auch der Siedpunct ändern müſſe, iſt klar, und hierin liegt der Grund, warum gemiſchte Flüſſigkeiten in der Regel einen veränderlichen Siedpunct haben. Auch ſolche Flüſſigkeiten, die aus zwei chemiſch nicht auf einander wirkenden, in Schichten getheilten Flüſſigkeiten beſtehen, haben einen veränderlichen Siedpunct, und dieſer liegt zwiſchen dem Siedpuncte der flüchtigeren Flüſſigkeit und jener Temperatur, bei welcher die Summe der Spannkräfte der Dämpfe beider Beſtandtheile dem Luftdrucke gleich iſt. Iſt demnach die flüchtigere Flüſſigkeit die obere, ſo ſiedet ſie bei ihrem natürlichen Siedpuncte; iſt ſie aber die untere, ſo beginnt ſie erſt zu ſieden, wenn ihre Dämpfe eine Spannkraft haben, welche dem auf ihr laſtenden Drucke gleich iſt. Treten aber dieſe Dämpfe in die obere Flüſſigkeit ein, ſo bildet der Raum, den ſie einnehmen, für die Dünſte dieſer oberen Flüſſigkeit ein Vacuum; es bilden ſich aus dieſer Dünſte, und der Druck derſelben hilft den von unten kommenden den Luftdruck ertragen. Es erfolgt darum eine Ausdehnung der Dämpfe bis zu dem Grade, wo Dampf und Dunſt eine dem Luftdrucke gewachſene Spannkraft haben, und bei dieſer Temperatur ſiedet die ganze Flüſſigkeit.

Auf dem Montblanc ſiedet Waſſer ſchon bei $86\frac{1}{2}$° C., auf dem Pic von Teneriffa bei 88°,7 C., in Quito bei 90°,1, in Mexico bei 92°,3; im Hoſpiz auf dem St. Bernhard hat ſiedendes Waſſer nur die Hiße von $92\frac{1}{4}$°, und man kann darin Rindfleiſch nicht weich kochen. Da die Siedhiße des Waſſers mit dem Luftdrucke, und dieſer mit der Höhe eines Ortes über der Meeresfläche innig zuſammenhängt, ſo hat man ein ſehr empfindliches Thermometer (das $\frac{1}{1000}$ eines Grades anzeigt) auch zum Höhenmeſſen empfohlen, worüber in der Folge mehr.

Tabelle der Sied- und Schmelzpuncte einiger Körper.

Schmelzpuncte.		Siedpuncte.	
Gußeiſen	1380° C.	Queckſilber	350° C.
Gold	2884	Leinöhl	315
Silber	2596	Schwefelſäure	310
Kupfer	2524	Phosphor	290
Meſſing	2092	Terpentinöhl	273
Zink	371	Kali	140
Blei	312	Bleizuckerlöſung	102
Zinn	227	Alkohol	79,7
Phosphor	37	Schwefeläther	73,8
Milch	— 1	Salpetrige Säure . . .	28
Queckſilber	—39	Salpeteräther	20
Schwefeläther . . .	—44	Schwefelige Säure . . .	—10

431. Die Dampfbildung beim Sieden erfolgt auf Koſten eines Antheils freier Wärme, welche gebunden wird. Davon überzeugt man ſich ſchon durch das einfache Factum, daß man unter denſelben Umſtänden die Temperatur einer ſiedenden Flüſſigkeit nicht weiter ſteigern kann. Vermehrt man den Zufluß der Wärme, ſo wird nur die Dampfbildung verſtärkt, aber weder die Temperatur der Flüſſigkeit, noch die des Dampfes erhöht Dieſe Wärme wird wieder frei, wenn der Dampf in tropfbaren Zuſtand übergeht.

Man kann die Wärmemenge, welche beim Uebergange einer gewiſſen Quantität irgend einer tropfbaren Flüſſigkeit in Dampf gebunden, beim entgegengeſetzten Prozeſſe wieder frei wird (Verdunſtungswärme), durch einen einfachen Verſuch beſtimmen Man nehme den Apparat, Fig 374, fülle in A die Flüſſigkeit ein, welche ausdehnſam werden ſoll, und laſſe die Dämpfe durch die Röhre B in einen ſchlangenförmigen Anſatz C gelangen, der von einer beſtimmten Menge kalten Waſſers umgeben iſt, damit ſie daſelbſt zerſetzt werden, und die gebundene Wärme an das Waſſer abgeben. Es bedeute nun T und M die Temperatur und Menge der Dämpfe, C die Wärmecapacität der aus den Dämpfen entſtehenden tropfbaren Flüſſigkeit, t und m die Temperatur und Maſſe des Waſſers, das die Schlangenröhre umgibt, vor dem Verſuche, t′ die Temperatur desſelben nach dem Verſuche, $x\sigma$ die von einer Dampfmenge = 1 gebundene Wärme, wobei σ wie immer die ſpecifiſche Wärme des Waſſers anzeigt, ſo daß x die Anzahl Grade, um welche man die Temperatur einer Maſſe Waſſer = 1 damit erwärmen könnte, d. h. die Verdünſtungswärme in Thermometergraden ausdrückt, Man hat, nach Weglaſſung des allen Gliedern gemeinſchaftlichen Factors σ, da die Dämpfe ſich im Maximum der Spannkraft für die Temperatur T befinden, mithin bei der geringſten Abkühlung in tropfbaren Zuſtand übergehen, die Gleichung

$$CM(T-t') + Mx = m(t'-t),$$ und hieraus

$$x = \frac{m(t'-t) - CM(T-t')}{M}.$$

Auf dieſem Wege hat man gefunden, daß man mit der Wärmemenge, welche man braucht, um Waſſer von 100° C. in Dampf von derſelben Temperatur zu verwandeln, eine gleiche Menge Waſſer von 0° auf 531° C. bringen könnte. Auf gleiche Weiſe würde man mit der Wärme, womit ſiedend heißer Alkohol oder Schwefeläther in Dämpfe verwandelt wird, eine gleiche Menge des erſteren um 332°, des letzteren um 174°,5 C.

erwärmen können. (*Despretz in Ann. de Ch.* 24. 323.) Heißt demnach die Wärmemenge, welche eine Waſſermaſſe von der Temperatur = 100° C. enthält = 1, ſo iſt die in einer gleichen Dampfmaſſe von der Temperatur 100° enthaltene Wärmemenge = 6,31. In thermiſcher Hinſicht iſt demnach eine Maſſe Waſſerdampf von 100° C. mit einer 6,3mal größeren Waſſermaſſe von 100°C. gleichwerthig. Aus dem Binden der Wärme beim Sieden und dem Freiwerden derſelben bei der Zerſetzung der Dünſte erklären ſich viele Phänomene: Warum ein zinnernes Gefäß beim heftigſten Feuer nicht ſchmilzt, ſo lange Waſſer darin iſt, der Nutzen des Waſſerbades beim Erhitzen gewiſſer Körper, die Erhitzung des Kühlwaſſers beim Deſtilliren ꝛc.

432. Es iſt bekannt, daß Flüſſigkeiten nicht bloß bei der Siedhitze, ſondern auch weit unter dieſer verdünſten, ja daß ſogar manche feſte Körper, wie z. B. Eis, Kampfer, Jod, bei einer Temperatur, bei welcher ſie nicht einmal tropfbar werden können, Dünſte liefern; jedoch entſtehen ſie nur an der Oberfläche ohne die mindeſte Bewegung der verdünſtenden Maſſe. Früher war man der Meinung, daß Flüſſigkeiten bei jeder Temperatur verdünſten; aber Faraday hat gezeigt, daß es für jede Flüſſigkeit eine gewiſſe Temperatur gebe, unter welcher ſie keine Dünſte mehr liefert. So z. B. iſt Queckſilber unter 5° R., Schwefelſäure bei der gewöhnlichen Luftwärme fix. Dieſe Grenztemperatur iſt diejenige, bei welcher die entſtehenden Dünſte eine Spannkraft haben, die mit ihrer Schwere und mit dem Drucke der ſchon vorhandenen Dünſte im Gleichgewichte ſteht. So wie die Temperatur unter dieſe Grenze hinabſinkt, reicht ſchon der Druck der, wenn auch nur in geringer Menge vorhandenen Dünſte hin, die abſtoßende Kraft der oberſten Flüſſigkeitstheile zu gewältigen, und es werden die Theile einer Flüſſigkeit oder eines feſten Körpers ſtärker nach abwärts oder zu den gleichartigen Theilen derſelben Maſſe hingezogen, als ſie durch ihr Beſtreben, expanſibel zu werden, aufwärts und von dem Reſte des Körpers weggetrieben werden können. Wiewohl dem Waſſer beigemengte Oehle bei einer beſtimmten Temperatur überdeſtilliren, ſo wird doch bei dem gewöhnlichen Wärmegrade die Flüchtigkeit derſelben durch Waſſer nicht erhöht. (Faraday in Zeitſchr. 2. 226. Pogg. Ann. 19. 545.)

433. Im luft- und dunſtleeren Raume bildet ſich faſt augenblicklich von einer Flüſſigkeit ſo viel Dunſt, als darin beſtehen kann; enthält dieſer Raum aber ſchon Luft oder irgend einen anderen Dunſt, ſo wirken dieſe als mechaniſche Hinderniſſe den neu zu bildenden Dünſten entgegen und verzögern die Verdünſtung. Ganz unterdrückt wird ſie aber bei einer Temperatur, bei welcher die Flüſſigkeit noch nicht fix iſt, nur durch ſchon vorhandene Dünſte von der größten Spannkraft. Darum wird die Verdünſtung durch Erhöhung der Temperatur, durch Wegſchaffen der ſchon gebildeten Dünſte, durch Verdünnen der Luft und durch Vergrößern der Oberfläche der verdünſtenden Flüſſigkeit geſteigert; darum befördert der Wind im Freien die Verdünſtung der Flüſſigkeiten ſo ſehr, und darum verdünſtet eine gegebene Menge Waſſer ſchneller, wenn man ſie auf den Boden ſpritzt oder von einem Tuche,

von Sand ꝛc. aufſaugen läßt, als wenn man ſie in einem engen Gefäße der Luft ausſetzt; darum verdünſtet eine Flüſſigkeit aus einem Haarröhrchen, wo ſie am Rande ſtark in die Höhe gezogen wird und eine relativ größere Oberfläche annimmt, reichlicher, als aus einem weiteren Gefäße (Pogg. Ann. 26. 463.) Auf dem Verdünſten beruht das Trocknen naſſer Körper, das Gradiren der Salzſoolen ꝛc. Man begreift leicht, daß von einem Gemiſche zweier Flüſſigkeiten nicht jeder Beſtandtheil unter denſelben Umſtänden gleich ſchnell verdünſtet, daß z. B. Weingeiſt, Branntwein ꝛc. in offenen Gefäßen ſchwächer werden muß, weil die Luft in der Regel wohl frei von Weingeiſt, aber nicht von Waſſerdünſten iſt, und daher erſtere leichter entſtehen als letztere. Bei Dünſten, welche aus einer Salzlöſung unter der Siedhitze entſtehen, herrſcht zwiſchen ihrer Spannkraft und Temperatur nicht dasſelbe Verhältniß wie bei den aus reinem Waſſer gebildeten, und dadurch unterſcheiden ſich demnach wieder Dünſte von Dämpfen.

434. Dünſte werden unter der Siedhitze nicht minder als bei der Siedhitze auf Koſten von gebundener Wärme gebildet. Mehrere Phyſiker haben aus ihren Verſuchen geſchloſſen, daß eine beſtimmte Dampfmaſſe immer gleich viel Wärme im freien und gebundenen Zuſtande zuſammen genommen enthalte, dieſelbe mag bei was immer für einer Temperatur entſtanden ſeyn und unter was immer für einem Druck ſtehen. Spätere Verſuche haben zwar dieſes Geſetz in Zweifel gezogen, allein die neueſten Unterſuchungen von Pambour haben jedes Bedenken beſeitiget, und man kann annehmen, es ſey in einer gegebenen Dunſtmenge die Summe der freien und gebundenen Wärme immer dieſelbe, und von Druck und Temperatur unabhängig. Dieſe Summe beträgt bei Waſſerdampf, der ſich bei 100° C. gebildet hat, offenbar $= 100 + 531 = 631^\circ$ und eben ſo groß muß ſie demach auch für Dampf von jeder anderen Temperatur ſeyn. Die latente Wärme des Dampfes, der ſich bei der Temperatur t° bildet, iſt demnach $631^\circ - t^\circ$.

435. Wenn das Sieden durch eigens zugeführte Wärme hervorgebracht wird, ſo liefert dieſe das zur Dampfbildung nöthige Quantum, und das Stattfinden der Wärmebindung hat nur im letzteren die Temperaturerhöhung der Flüſſigkeit zur Folge. Bei der freien Verdunſtung, wo kein künſtlicher Wärmezufluß Statt findet, muß aber die zur Dunſtbildung nöthige Wärme aus der Umgebung genommen werden und für dieſelbe verſchwinden. Daher iſt jede Verdunſtung von einer Erkältung begleitet.

Vom Binden der Wärme bei der Dunſtbildung rührt die Kälte her, welche man nach einem Bade empfindet, die Abkühlung der Luft durch einen Regen oder durch Ausſpritzen von Waſſer, die Gefahr einer zu ſtarken Abkühlung nach dem Schweiße, die empfindliche Wirkung feuchter Winde, die Wirkung der Alkarazzas (poröſer Thongefäße) der Spanier, die Möglichkeit in einem ſehr ſtark erhitzten Raume auszuhalten, wie dieſes mit Solander, Banks und Blagden in einer Temperatur von mehr als 127° C. der Fall war. Setzt man ein Schälchen Waſſer in ein größeres Gefäß mit Schwefeläther, und bringt beide unter den Recipienten der Luftpumpe, ſo kann man durch fleißiges Verdünnen

der Luft das Waſſer zum Frieren bringen. Dasſelbe kann man auch erreichen, wenn man ſtatt des Aethers Schwefelſäure nimmt, welche die entſtandenen Waſſerdünſte abſorbirt. Befeuchtet man die Kugel eines in einem Recipienten befindlichen Thermometers mit Schwefeläther, ſtellt ein Schälchen mit Schwefelſäure in die Nähe und verdünnt dann die Luft, ſo kann eine bis zum Gefrieren des Queckſilbers ſteigende Erkaltung hervorgebracht werden. Auch durch Verdünſten der flüſſigen ſchwefligen Säure kann man Queckſilber zum Gefrieren bringen. Wollaſton's Kryophor gibt einen ferneren Beleg für obige Behauptung ab. Dieſer beſteht (wie Rumford's Thermoſkop) aus zwei Glaskugeln, die durch eine ziemlich lange Glasröhre mit einander verbunden ſind. Eine derſelben enthält Waſſer, übrigens iſt der ganze Apparat luftleer. Taucht man die leere Kugel in Schnee oder Eis, ſo friert das Waſſer in der anderen. Daniell's, Körners, Leslie's Hygrometer beruhen auch auf der Wärmebindung beim Verdünſten. Durch Verdünſten der tropfbaren Kohlenſäure hat man eine nahe an 100° C. gehende Kälte hervorgebracht.

Nach den hier dargeſtellten Geſetzen läßt ſich auch die Formel rechtfertigen, welche im erſten Theile 267 zur Berechnung der Spannkraft der in der Luft enthaltenen Dünſte nach den Anzeigen des Thermohygrometers angegeben wurde. Es iſt nämlich bei dieſem Inſtrumente immer ein kleiner mit der befeuchteten Thermometerkugel concentriſcher Raum mit Waſſerdunſt geſättigt. Ein Theil dieſes Dunſtes war ſchon vorhanden, und um deſſen Spannkraft handelt es ſich eigentlich; der andere iſt erſt durch Verdünſtung des Waſſers am Kugelüberzuge entſtanden. Letzterer wurde auf Koſten der Wärme gebildet, welche die Luft und der ihr beigemengte Dunſt bei dem Uebergange von der herrſchenden Lufttemperatur zu jener, welche das ſtationär gewordene befeuchtete Thermometer anzeigt, abgegeben haben. Nennt man nun die Temperatur des trockenen Thermometers t, die des benetzten t′, das Gewicht der Luft in dem Raume, aus welchem dem verdünſtenden Waſſer Wärme zufließt, p, das Gewicht des darin urſprünglich enthaltenen Dunſtes q, und das Gewicht des neu entſtandenen Dunſtes s; ferner die Wärmecapacität der Luft c, jene des Dunſtes γ, beide auf conſtanten Druck bezogen und durch die Capacität des Waſſers gemeſſen, deſſen ſpecifiſche Wärme σ ſey; endlich die Dunſtwärme des Waſſers für 0° C. in Temperaturgraden ausgedrückt λ; ſo beſteht, da die hergegebene Wärmemenge $p(t-t')c\sigma + q(t-t')\gamma\sigma$ der conſumirten $s(\lambda - t')\sigma$ gleich ſeyn muß, die Gleichung

$$(pc + q\gamma)(t - t') = s(\lambda - t').$$

Es ſey b der herrſchende Barometerſtand, e die zu beſtimmende Spannkraft des Dunſtes in der Luft, e′ das Maximum dieſer Spannkraft für die Temperatur t′ des benetzten Thermometers, mithin b — e der Druck, unter welchem die Luft, e′ — e jener, unter welchem der neu zugewachſene Dunſt ſteht; ferner ſey $\alpha : 1$ das Verhältniß der Dichte des Dunſtes zu jener der Luft bei gleicher Spannung und gleicher Temperatur; ſo hat man nach I. 246

$$p : q = b - e : \alpha e, \text{ d. h. } q = \frac{\alpha e p}{b - e}, \text{ und eben ſo } s = \frac{\alpha(e' - e)p}{b - e}.$$

Dieſe Reſultate in obige Gleichung eingeführt, geben nach Weglaſſung des allen Gliedern gemeinſchaftlichen Factors p, und nach Wegſchaffung des Nenners b — e, wenn man zur Abkürzung d ſtatt t′ — t ſchreibt.

$$[c(b - e) + \alpha\gamma e]\, d = \alpha(e' - e)(\lambda - t'),$$

oder $[\alpha(\lambda - t') + (\alpha\gamma - c)d]\, e = \alpha(\lambda - t')\, e' - cbd,$

woraus

$$e = \frac{\alpha(\lambda - t')\,e' - c\,b\,d}{\alpha(\lambda - t') + (\alpha\gamma - c)\,d} \text{ folgt.}$$

Die Erfahrung gibt $c = 0{,}2669$, $\gamma = 0{,}8470$, $\sigma = 0{,}62$, $\lambda = 631$, in ſofern die Temperaturen nach der hunderttheiligen Scale beſtimmt werden. Hiernach kann obige Formel leicht zur numeriſchen Rechnung vorgerichtet werden. Wegen der bedeutenden Größe von λ kann man, der in der Ausübung erreichbaren Genauigkeit unbeſchadet, den zweiten Theil des Nenners nämlich $(\alpha\gamma - c)\,d$ weglaſſen; man erhält ſonach

$e = e' - \frac{c\,b\,d}{\alpha(\lambda - t')}$ und wenn man noch t' in Bezug auf λ vernachläßiget,

$e = e' - \frac{c}{\alpha\lambda}\,b\,d$. Man findet näherungsweiſe $\frac{c}{\alpha\lambda} = 0{,}0007$.

Iſt die Thermometerkugel mit einer Eisrinde überzogen, ſo muß man zu λ noch 75° hinzufügen, und erhält für den Werth des Coefficienten im zweiten Gliede 0,0006. Indeſſen werden dieſe Coefficienten von verſchiedenen Phyſikern etwas höher angenommen als ſie dieſe Rechnung gibt, von der ſie nur die Form des Ausdruckes entlehnen. In der That kann man, wenn man $e = e' - A\,b\,d$ annimmt, den Werth des Coefficienten A indirect durch Vergleichung der Anzeigen des Schwefelätherhygrometers mit jenen des Pſychrometers beſtimmen. Auguſt (über die Fortſchritte der Hygrometrie in der neueſten Zeit, Berlin 1830) ſetzt

$$e = e' - \frac{0{,}558\,b\,d}{\lambda - t'},$$

während der numeriſche Coefficient in dieſer Formel nach Obigem $= \frac{c}{\alpha} = 0{,}43$ ſeyn würde. Die Formeln S. 216 halten das Mittel zwiſchen den verſchiedenen Angaben.

C. Anwendungen des Dampfes.

436. Auf den Geſetzen der Dampfbildung beruht der Deſtillationsproceß. Dieſen leitet man ein, um aus einem Gemenge flüchtiger und nicht flüchtiger Subſtanzen erſtere von letzteren zu trennen. Er beſteht im Weſentlichen darin, daß man das Gemenge einer Temperatur ausſetzt, wo ſich die flüchtige Subſtanz in Dampf verwandelt und dann dieſe Dämpfe durch Abkühlen tropfbar macht. Im Kleineren deſtillirt man aus Retorten, im Großen aus eigenen Keſſeln oder Blaſen, und die Zerſetzung des Dampfes bewirkt man im erſten Falle in einer kleinen Vorlage, die durch Zutröpfeln von Waſſer ſtets kalt erhalten wird, im letzteren in einem meiſtens ſchlangenförmigen, durch kaltes Waſſer geführten Rohr. Die ganze Zerſetzungs-Vorrichtung heißt Kühlapparat. Man geht ſtets darauf aus, die größtmögliche Fläche der Blaſe dem Feuer und die größtmögliche Fläche des Kühlers dem Waſſer auszuſetzen. Zwiſchen beiden Flächen muß das gehörige Verhältniß herrſchen. Nicht immer braucht man zum Behufe der Deſtillation die Flüſſigkeit zur Siedhitze zu bringen, man kann die Dampfbildung auch durch Verdünnen der Luft über der Flüſſigkeit befördern, und wie man zu ſagen pflegt, im leeren Raume deſtilliren. Dabei erzielt man aber keine Erſparung an Brennſtoff, weil dieſelbe Dunſtmenge ſtets zum Entſtehen dieſelbe Wärmemenge

braucht; allein oft iſt es wichtig, eine ſtarke Erhitzung des zu deſtillirenden Körpers zu vermeiden, und in einem ſolchen Falle iſt die Deſtillation im leeren Raume vom Nutzen. Wenn ein Gemenge Flüſſigkeiten von verſchiedenem Grade der Flüchtigkeit enthält, ſo bilden ſich in der Regel von allen dieſen gleichzeitig Dämpfe, jedoch von der flüchtigeren mehr als von den anderen, und man erhält demnach auch ein aus allen dieſen Flüſſigkeiten beſtehendes Deſtillat, worin aber der flüchtigere Beſtandtheil das Uebergewicht hat. Da muß man nun durch mehrere auf einander folgende Deſtillationen eine weitere Concentration bewirken.

Unter allen Deſtillationen iſt jene des Weingeiſtes aus der ſogenannten Maiſche am meiſten raffinirt. Man hat dazu eigene, zum Theile ſehr zuſammengeſetzte Apparate, durch welche man ſchon bei der erſten Deſtillation ſehr ſtarken Weingeiſt gewinnt, und das Anfangs erhaltene Deſtillat nicht noch ferner zu concentriren braucht. Die Dämpfe kommen in der Regel mit einer Temperatur von 80° C. in den Kühlapparat, und die mittlere Wärme des Kühlwaſſers kann da, wo es mit den Kühlröhren in Berührung ſteht, auf 51° C. geſetzt werden. Da condenſiren 10 Quadratfuß Fläche der Kühlröhren in 1 Minute $1\frac{1}{2}$ Pfd. Flüſſigkeit. Für 1 Q.-Fuß der Kühlröhren rechnet man bei gewöhnlichen Apparaten ohne Vorwärmer $\frac{1}{2}$ Q. Fuß Feuerfläche der Blaſe, bei Apparaten mit Vorwärmen aber 2—3 Q. Fuß. (Otto's Lehrbuch der rationellen Praxis der landwirthſchaftlichen Gewerbe. Braunſchweig 1840.)

437. Die große Menge der vom Waſſerdampf gebundenen Wärme macht denſelben vorzüglich geeignet, Wärme von einem Orte zum anderen ohne merklichen Verluſt zu übertragen, und daher kommt es, daß man ihn dazu verwendet, Flüſſigkeiten zu erhitzen und Gemächer zu erwärmen. Man erzeugt den Dampf in einem eigenen Keſſel und leitet ihn in metallenen Röhren in die zu erhitzende Flüſſigkeit oder durch den zu beheizenden Raum. In dem Maße, als der Dampf Wärme an die die Röhren umgebende Maſſe abtritt, wird er ſelbſt zerſetzt und das aus dem Dampfe erzeugte Waſſer wird entweder wieder in den Keſſel zurück geleitet, um neuerdings zu verdampfen, oder es gelangt ins Freie und fließt daſelbſt ab. Wenn man durch Waſſerdampf Waſſer erhitzen will, kann man ihn gleich in letzteres unmittelbar leiten. Soll durch Dampf ein Locale beheizt und bei einer beſtimmten Temperatur erhalten werden, ſo muß ſo viel Dampf zugeleitet werden, daß der Luft die nach außen abgegebene Wärme wieder von den Dampfröhren zurück erſtattet wird; dazu gehört eine angemeſſene Größe des Dampfkeſſels und eine entſprechende Oberfläche der Dampfröhren.

Aus dem Vorhergehenden iſt bekannt, daß 1 Pfd. Waſſerdampf von 100° C. an die Umgebung 531° Wärme abgibt, wenn er in Waſſer von 100° verwandelt wird. Man kann alſo durch eine beſtimmte Dampfmenge von 100° C. eine 5mal größere Waſſermaſſe von 0° C. zum Sieden bringen. 1 Pfd. Dampf kann 1 Pfd. Waſſer von 0 auf 531°, oder da die Capacität der Luft 0,2669 von jener des Waſſers iſt, 1 Pfd. Luft auf $\frac{531^\circ}{0{,}2669} = 1989^\circ{,}5$ erhitzen. Da 1 Pfd. Luft von 0° C. einem Luftvolum

von 13,6 K. Fuß entſpricht, ſo kann man ſagen, 1 Pfd. Waſſerdampf von 100° C. erhitzt beim Uebergange in Waſſer von 100° C. 13,6 K. Fuß Luft von 0° auf 1989°,5. Daraus geht hervor, daß man zur Erwärmung von K Kubikfuß Luft um $t - t'$ Grade ein Waſſerdampfquantum q braucht, welches durch

$$q = \frac{K(t - t')}{13{,}6 \times 1989{,}5} = \frac{K(t - t')}{27057}$$

ausgedrückt wird. Ein Locale, in welchem in 1 Minute K Kubikfuß Luft durch äußere Einflüſſe um $t - t'$ abgekühlt werden, kann demnach nur durch einen Zufluß von q Pfd. Dunſt von 100° in 1 Minute bei conſtanter Temperatur erhalten werden. Da, wie die Erfahrung lehrt, ein Keſſel, der in 1 Min. 1 Pfd. Dampf liefern ſoll, 10 Q. Fuß Heizfläche haben muß, ſo wäre im vorerwähnten Falle eine Heizfläche von 10 q nöthig. Clement hat durch Erfahrung die für verſchiedene Gegenden nöthigen Röhrenoberflächen angegeben wie folgt: Für England, wo das Klima ſehr mild iſt, für 100 K. Fuß Zimmerraum, $1^1/_2$ Q. Fuß gußeiſerne Röhrenfläche, für das kältere nördliche Frankreich (das mit unſeren Gegenden harmoniren dürfte) für 60 K. F. Zimmerraum 1 Q. Fuß Röhrenfläche. Bayley gibt den Heizraum, der durch 1 Q. Fuß Röhrenfläche geheizt wird für England) folgendermaßen an: Für ein Ananashaus 20 K. Fuß, für Trauben und Pfirſiche 40 K. Fuß, für Orangen 80—100 K. Fuß, für Speiſezimmer 150 K. Fuß, für Theater, Ateliers, Kirchen 200 K. Fuß. Es iſt klar, daß dieſes nur Durchſchnittswerthe ſind, die unter beſonderen Umſtänden ſtarke Modificationen erleiden müſſen.

438. Die wichtigſten Dienſte leiſtet der Waſſerdampf durch ſeine Expanſivkraft, indem er dadurch die bewegende Kraft der Dampfmaſchinen abgeben kann. Er wird zu deſſen Ende in einem eigenen Keſſel, dem Dampfkeſſel, mittelſt Hitze erzeugt, gelangt von da in den ſogenannten Dampfcylinder, drückt auf den in dieſem befindlichen, luftdicht ſchließenden aber beweglichen Kolben, und treibt ihn vor ſich hin bis zu einer beſtimmten Grenze. Iſt dieſe erreicht, ſo wird der bisher wirkſam geweſene Dampf ins Freie gelaſſen, und ein anderer tritt aus dem Keſſel an der entgegengeſetzten Seite des Kolbens ein und bewegt dieſen wieder zurück, wird aber, wenn er dieſes bewirkt hat, ſelbſt wieder ins Freie gelaſſen und dadurch unwirkſam gemacht, wornach das Spiel des Kolbens von Neuem beginnt, ſo, daß nun dieſer durch den Dampf abwechſelnd hin und her bewegt wird. Mit dem Kolben ſteht eine durch eine Stopfbüchſe luftdicht gehende Stange, Kolbenſtange genannt, in Verbindung, nimmt an der Bewegung desſelben Antheil, und pflanzt ſie zum Balancier, einem zweiarmigen gleicharmigen ſtarken Hebel fort. Dieſer überträgt ſie mittelſt einer beweglichen Stange an eine Kurbel, die ſich mit einem Schwungrad an derſelben Axe befindet, und ſo wird die hin und hergehende Bewegung des Kolbens und Balanciers in eine drehende des Schwungrades, und wenn es erforderlich iſt, anderer damit verbundener Räder verwandelt. Aus dieſem geht hervor, daß die weſentlichen Beſtandtheile einer Dampfmaſchine der Keſſel, Cylinder und Kolben ſeyen. Doch gilt dieſes nur von einer beſtimmten und zwar der einfachſten Art der Dampfmaſchinen. Da in einer ſolchen der ausgediente Dampf ins Freie geht,

ſo muß der arbeitende Dampf eine große Spannung, wenigſtens von 2—3 Atmoſphären haben. Man nennt ſie darum auch Hochdruckmaſchinen. Um mit Dampf von geringerem Drucke arbeiten zu können, muß der ausgediente Antheil deſſelben nicht ins Freie gelaſſen, ſondern zu Waſſer condenſirt, und ſo gleichſam auf einer Seite des Kolbens ein Vacuum erzeugt werden. Dieſes geſchieht in einem beſonderen Behälter, Condenſator genannt, durch eingeſpritztes kaltes Waſſer. Maſchinen der Art heißen darum auch Condenſationsmaſchinen. Eine ſolche kann wohl auch mit hoch geſpanntem Dampf arbeiten, in der Regel geſchieht dieſes aber nicht, und der arbeitende Dampf hat ſelten eine Kraft über 1½ Atmoſphären. Meiſtens treibt der Dampf den Kolben abwechſelnd nach beiden entgegengeſetzten Richtungen, und die Maſchine heißt darum doppelt wirkend, doch gibt es auch ſolche, wo der Kolben nur nach einer Richtung durch den Dampf getrieben, nach der anderen aber durch den Druck der Atmoſphäre und ein Gegengewicht bewegt wird; ſie heißen einfach wirkende. Man pflegt heut zu Tage den Dampf nicht fortwährend zum Kolben ſtrömen zu laſſen, bis derſelbe das Ende ſeiner Bahn erreicht hat, ſondern ſperrt ihn früher ab. Man ſagt dann, die Maſchine arbeitet mit Expanſion. Die meiſten Dampfmaſchinen haben feſte Cylinder, doch gibt es auch ſolche mit oſcillirenden Cylindern. Nicht alle haben einen Balancier, ſondern manchmal greift die Kolbenſtange unmittelbar in ein Räderwerk ein und ſetzt es in Bewegung; ja man hat ſogar darauf gedacht, Maſchinen zu erfinden, wo der Kolben nicht hin und hergeht, ſondern ſich ſelbſt dreht. Eine ſolche Maſchine iſt gar einfach gebaut. Im Allgemeinen kann man doppelt wirkende Condenſationsmaſchinen mit niederem Druck und doppelt wirkende Hochdruckmaſchinen, beide mit feſtem Cylinder und mit Balancier, und nach dem Expanſionsprincip eingerichtet, für die verbreitetſten anſehen. Jede Dampfmaſchine hat außer der eigentlichen Nutzlaſt noch mehrere Nebenlaſten zu bewegen, die ihr angehängt werden, um ihren eigenen Gang zu unterhalten. Sie muß ſich das Waſſer für den Keſſel und für den Condenſator pumpen, die Steuerung bewegen, welche den Dampf bald unter bald über den Cylinder gelangen läßt, den Regulator handhaben, der einem zu ſchnellen oder ungleichen Gange vorbeugt, wenn ſie einen Condenſator hat, den Einſpritzhahn dirigiren, Luft und Waſſer aus dem Condenſator pumpen. Man hat ſogar Dampfmaſchinen, die ſich ſelbſt Brennſtoff zulegen und den Luftzug reguliren ꝛc.

Man kann ſich wohl denken, daß ein ſo complicirtes Werk, wie eine Dampfmaſchine iſt, nicht gleich in ihrer gegenwärtigen Vollkommenheit aus den Händen ihres Erfinders gekommen ſey; doch iſt es merkwürdig, daß alle wahrhaft großen und nützlichen Verbeſſerungen dieſes mächtigen Triebwerks von einem einzigen Menſchen, J. Watt, erfunden worden ſind. Wenn man ſchon eine Vorrichtung, bei welcher Waſſerdampf eine Bewegung hervorbringt, eine Dampfmaſchine nennen will, ſo iſt Hero von Alexandrien, der 120 Jahre v. Ch. lebte, der Erfinder derſelben; denn in der von ihm angegebenen Maſchine

wird eine hohle, mit Waſſerdampf gefüllte metallene Kugel durch Rückwirkung des herausſtrömenden Dampfes in drehende Bewegung geſetzt. Schließt man aber derlei Apparate als nicht hieher gehörig aus, ſo beginnt die Geſchichte der Dampfmaſchinen mit einem Patente, welches Savery, ein engliſcher Capitän, i. J. 1698 auf eine Maſchine erhielt, in welcher mittelſt Waſſerdampf die Luft aus einem Pumpenſtiefel vertrieben, und hierauf durch Abkühlen ein leerer Raum darin erzeugt wurde, in welchen nun das Waſſer aus einem Brunnen durch den Luftdruck emporſtieg. Arago hält Caus für den Erfinder der Dampfmaſchine. Dieſe in jeder Hinſicht ſehr unvollkommene Vorrichtung wurde durch Newcomen i. J. 1705 dadurch weſentlich verbeſſert, daß er über dem Dampfkeſſel einen hohlen Cylinder mit einem beweglichen Kolben anbrachte, welcher durch den Dampf gehoben wurde, und wenn er den höchſten Punct erreicht hatte und durch eingeſpritztes Waſſer die Dämpfe verdichtet waren, durch den Druck der Atmoſphäre wieder hinabſank. Durch abermaliges Zulaſſen des Dampfes konnte der Kolben neuerdings zum Steigen und durch Verdichten desſelben wieder zum Sinken gebracht, und ſo eine anhaltende Bewegung unterhalten werden. Die erſten Maſchinen hatten eine Hahnſteuerung, man mußte jedoch den Hahn mit freier Hand bewegen; aber ein Knabe, Humphry Potter, der dieſem Geſchäfte keinen Geſchmack abgewinnen konnte, verfiel auf den Gedanken, es der Maſchine ſelbſt zu übertragen und führte ihn alſogleich aus, indem er den Kopf des Hahnes mittelſt Schnüren mit dem bewegten Mechanismus verband. Ungeachtet dieſer Verbeſſerung war die genannte Maſchine noch immer mangelhaft; insbeſondere verurſachte das Einſpritzen des Waſſers in den Cylinder und die den oberen Theil des Kolbens frei berührende Luft eine ſehr große Abkühlung. Dieſe vermied J. Watt dadurch, daß er den Cylinder luftdicht ſchloß, die Kolbenſtange durch eine Stopfbüchſe gehen ließ, und ſo der Luft den Zutritt zum Kolben verwehrte, noch mehr aber durch Erfindung des Condenſators, der neben dem Cylinder befindlich, den Dampf von ihm aufnahm, und ihn durch eigens eingeſpritztes Waſſer verdichtete, ohne den Cylinder mit dem kalten Waſſer in Berührung zu bringen. Nun war zwar die Maſchine zu Arbeiten geeignet, bei denen nur ein Zug nach einer Richtung nöthig iſt, wie z. B. zum Waſſerheben, man konnte ſie aber nicht zum Betriebe von Maſchinen brauchen, die eine ununterbrochene Kraft fordern, weil die Wirkung des Dampfes nur einſeitig war. Watt ſetzte ſeinen Verbeſſerungen die Krone auf, indem er doppelt wirkende Maſchinen baute, und ſie demnach zur Erzeugung jeder Bewegung qualificirte. Später hat er auch das Princip der Expanſion bei ſeinen Maſchinen angewendet. Eine Watt'ſche Dampfmaſchine mit doppelter Wirkung ſtellt Fig. 375 vor. Von der Röhre A kommt der Dampf durch a oder b mittelſt der Steuerung c in den Cylinder B, und bewegt den Kolben C, mit deſſen Stange E der Balancier F in Verbindung ſteht, welcher dem Schwungrade G ſeine Bewegung mittheilt. Der Dampf, welcher ausgedient hat, gelangt durch die Röhre d in den Condenſator H, welcher in einer Ciſterne M mit kaltem Waſſer ſteht, und dieſes durch den Injectionshahn e eingeſpritzt erhält. Das im Condenſator erwärmte Waſſer wird nebſt der entwickelten Luft durch die Pumpe I herausgepumpt, und ein Theil davon in den Behälter K gebracht, von wo es durch eine andere Pumpe f in den Dampfkeſſel gelangt, und zur Speiſung desſelben dient. Der Ciſterne führt die Pumpe L kaltes Waſſer zu. Alle dieſe Pumpen ſtehen mit dem Balancier in Verbindung, und werden durch ihn in Thätigkeit geſetzt. Bei der in M beſonders abgebildeten Stellung der Steuerung gelangt der Dampf

aus dem Keſſel unter den Kolben, und der über dem Kolben befindliche in den Condenſator. Wird die Steuerung in die Stellung N gebracht, ſo können die Dämpfe über den Kolben, und die unter ihm befindlichen in den Condenſator gelangen. Wenn die Steuerung ſchon verſchoben und der Dampfzutritt ſchon aufgehoben wird, bevor der Kolben ſein Ziel erreicht hat, arbeitet die Maſchine mit Expanſion. Man kann dasſelbe auch dadurch erreichen, daß man den ausgedienten Dampf in einen zweiten größeren Cylinder treibt und ihn dort einen zweiten Kolben bewegen läßt, wie dieſes in Woolfs Maſchinen geſchieht. Alle Condenſationsmaſchinen ſind voluminös und ſchwer, und fordern viel Waſſer für den Keſſel und Condenſator. Dieſem helfen Hochdruckmaſchinen ab, an die ſchon Watt gedacht, die aber zuerſt Trevithick in England und Evans in Amerika ausgeführt haben. Zum Betreiben von Wagen auf Eiſenbahnen kann man nur Hochdruckmaſchinen brauchen. Eine ſolche Locomotivmaſchine hat zwei Cylinder, die aus einem Keſſel geſpeiſt werden. Die Bewegung jeder der Kolben theilt ſich mittelſt einer Kurbel einer Welle mit, welche hiedurch umgedreht wird. An dieſer Welle ſind die zwei Triebräder des Locomotivs befeſtiget, und dieſe machen demnach bei jedem Hin- und Hergang der Kolben eine Umdrehung, und die Maſchine legt einen dem Umfange der Triebräder gleichen Weg zurück. Der Keſſel eines Locomotivs iſt der beſonders ſinnreich eingerichtete Beſtandtheil derſelben. Er beſteht aus einem blechernen Kaſten, an deſſen einem Ende die Feuerung, am anderen ein Rauchfang angebracht iſt, durch ſein Inneres gehen der Länge nach eine Anzahl (60 — 120) metallener Röhren, die beiderſeits offen ſind, an der Feuerkaſtenwand beginnen und an der Rauchkaſtenwand enden. Sie ſind von Waſſer umgeben und werden vom Feuer durchſtrichen. Sie bedingen die Feuerfläche, welche zur Erzeugung einer ſo großen Quantität Dampf nöthig iſt. Man nimmt an, daß für jeden Quadratfuß Heizfläche bei einer Geſchwindigkeit von 4 Meilen in der Stunde 0,2 Kubikfuß Waſſer aus dem Keſſel verſchwinden, wovon $1/5$ und mehr mechaniſch fortgeriſſen wird. Bei anderen Geſchwindigkeiten verhält ſich der Verbrauch der Waſſermenge wie die vierte Wurzel der Geſchwindigkeiten.

439. Um den Effect einer Dampfmaſchine zu berechnen, braucht man nur die Expanſivkraft des Dampfes im Dampfcylinder und im Condenſator und die demſelben dargebotene Fläche des Kolbens zu kennen. Jene Expanſivkräfte erkennt man aus der Temperatur des Waſſers im Keſſel und im Condenſator, mittelſt der S. 207 mitgetheilten Tabelle. Bei den gewöhnlichen Maſchinen mit Condenſatoren erleidet der Kolben durch den Dampf einen Druck, welcher dem Drucke einer Queckſilberſäule gleich kommt, deren Baſis der gedrückten Kolbenfläche, deren Höhe dem Unterſchied der Expanſivkräfte des Dampfes im Keſſel und im Condenſator entſpricht. Bei Dampfmaſchinen ohne Condenſator hat man ſtatt des Gegendruckes des nicht verdichteten Dampfes den der Atmoſphäre zu ſetzen. Jener Druck wird aber keineswegs ganz zur Erzeugung der nützlichen Wirkung der Maſchine verwendet, ſondern es muß davon der Theil abgezogen werden, welcher nöthig iſt, um der Reibung des Kolbens das Gleichgewicht zu halten, die Hilfspumpen und die Steuerung zu bewegen; ein anderer Theil geht wegen der Abkühlung des Cylinders, wegen Beſchleunigung des Dampfes, wegen unvollkommener Condenſirung desſelben ꝛc.

verloren. Der Reſt dient dann eigentlich als nützliche bewegende Kraft, und von dieſer hängt der Effect der Maſchine ab. Dieſen Effect ſchätzt man in der Regel durch das Gewicht reinen Waſſers, welches die Maſchine in einer Minute einen Fuß hoch hebt, oder nach der Anzahl der Pferde, deren Arbeit ſie verrichtet. Man nimmt da an, daß ein Pferd in 1 Sec. 400 Pfund oder in 1 Minute 24000 Pfund 1 F. hoch heben kann. Man darf aber dabei nicht vergeſſen, daß es bei einer Maſchine nicht allein auf den Effect, ſondern auch auf die Conſumtion des Brennmaterials ankommt, durch welche man ihn erzielt, und daß von zwei Maſchinen offenbar jene vorzuziehen ſeyn werde, welche denſelben Effect mit dem geringſten Bedarf an Brennmateriale leiſtet. Der Bedarf deſſelben ſteht nicht immer mit den Leiſtungen einer Maſchine im geraden Verhältniſſe. Eine Maſchine mit der Kraft von hundert Pferden bedarf nicht zehnmal mehr Brennmaterial, als eine von zehn Pferdekräften, und Maſchinen mit hohem Drucke bedürfen nicht in demſelben Verhältniſſe mehr Brennſtoff als ſie mehr leiſten, ſind aber einem großen Dampfverluſte und mehr der Gefahr des Keſſelzerſpringens ausgeſetzt. Indeß kennt man heut zu Tage ziemlich zuverläßige Mittel, ſolchen Unglücksfällen vorzubeugen, wie z. B. die Anwendung gut unterhaltener Sicherheitsventile, Vermeidung der Ueberlaſtung derſelben, öfteres Befreien des Keſſels vom Pfannenſteine, den Gebrauch von Zapfen aus leicht flüſſigem Metalle, Vermeidung gußeiſerner Keſſel, vorzüglich zweckmäßige Einrichtung und öftere Unterſuchung der Waſſer zuführenden Pumpen. (Zeitſchr. 7. 477. Pogg. Ann. 25. 596.) Durch Vervollkommnung der einzelnen Theile der Dampfmaſchinen hat man ungemeine Erſparungen an Brennmateriale ohne Beſchränkung der Leiſtungen erzielt.

Im Jahre 1811 hob nach Berichten aus Amerika (Dupin, Mechanik B. 3. S. 344) eine Maſchine der beſten Art nach Watt's Conſtruction mit einem Scheffel Kohlen in 1 Min. 15.760000 Pfd. Waſſer; im J. 1815 hatte man ſie ſchon ſo weit verbeſſert, daß dieſe Wirkung auf 20,766000 Pfd. ſtieg, ja mittelſt einer nach Woolf's Princip conſtruirten Hochdruckmaſchine erlangte dieſe Wirkung die Größe von 4625250 Pfd. In England hebt die beſte, nach alter Art conſtenirte Maſchine mit 1 Bushel (1,7 Metzen) Kohlen 40 Millionen Pfd. Waſſer 1 Fuß hoch. Eine neuere Maſchine hebt aber mit demſelben Kohlenbedarfe 61,774166. Bei einer von Groſe in Cornwallis erbauten Dampfmaſchine, die ihrer Güte wegen berühmt iſt, kommt dieſe Wirkung auf 92,327000 Pfd. und bei einer Maſchine, die in der Grube Fowey Conſols in Cornwallis arbeitet, gar auf 93,168124 Pfd. (*Phil. mag.* 2. 309. 7. 425. *Mech. Mag. N.* 643.) Mit den i. J. 1823 in England gangbaren Dampfmaſchinen würde man die 186 Mill. Zentner wiegende ägyptiſche Pyramide, deren Bau 100,000 Menſchen durch zwanzig Jahre beſchäftigte, mit 36,000 Menſchen in achtzehn Stunden aufbauen können. Die 64 Dampfmaſchinen, welche man in Cornwallis allein zur Trockenlegung der Bergwerke anwendet, leiſten ſo viel, wie 448000 Pferde. England hatte im Jahre 1833 für 2,321560 Pferdekräfte Dampfmaſchinen, Frankreich für 1,785500, Preußen für 914985, mithin wurden in England 12½ Millionen, in Frankreich 8 Millionen, in Preußen 4½ Millionen arbeitende Menſchen durch Dampfkraft erſetzt (Pogg. 50. 60.

Bernoulli, Anfangsgründe der Dampfmaſchinenlehre. Baſel, 1834. Prechtl's Encyklopädie. Art. Dampf. Baumgartner's Mechanik, Wien, 1834. S. 305. Deſſen Heizung der Dampfkeſſel ꝛc. Wien 1841.)

Fünftes Kapitel.

Quellen der Wärme.

440. Die Wärme wird uns theils von außen und zwar von der Sonne, zum Theil auch von den Sternen zugeführt, oder ſie wird durch beſondere Vorgänge erzeugt, nämlich durch Stoß und Reibung, Elektricität, chemiſche Wirkung, und durch den Lebensproceß. Jede dieſer Wärmequellen wirkt auf eigenthümliche Weiſe, mit deren Darſtellung wir uns hier beſchäftigen wollen.

441. Die Hauptquelle der Wärme auf der Erde iſt die Sonne. Ein ihren Strahlen ausgeſetzter Körper wird erwärmt, und zwar unter übrigens gleichen Umſtänden deſto mehr, deſto dichter das darauf fallende Licht iſt und je weniger ſchief ihn die Strahlen treffen. Doch hängt dieſe Erwärmung auch von dem ihr unterworfenen Körper ab. Läßt man zwei ſonſt übereinſtimmende Thermometer, deren eines eine mit Kienruß geſchwärzte Kugel hat, von der Sonne beſcheinen, ſo ſteigt das mit der ſchwarzen Kugel viel höher als das andere; legt man verſchiedenfarbige Tuchlappen auf Schnee, ſo ſchmilzt dieſer, wenn die Sonne darauf ſcheint, zuerſt unter den dunkleren Lappen. Jedermann weiß, daß ſchwarze Kleider im Sommer wärmer ſind als lichte, und daß ſich ſchwarzer Ackerboden, ſchwarz angeſtrichene Wände unter dem directen Einfluß der Sonne viel mehr erwärmen, als wenn dieſe Körper eine lichte Farbe haben.

Dieſes Verhalten ſchwarzer Körper im Sonnenlichte hat ſchon Pictet, ſpäter Leslie zur Beſtimmung der Intenſität des Sonnenlichtes angewendet, in der Vorausſetzung, daß die Größe der Erwärmung eines Körpers im Sonnenlichte der Intenſität des letzteren proportional ſey. Leslie hat eine Kugel ſeines Differenzialthermometers geſchwärzt, und es in dieſem Zuſtande als Photometer gebraucht. Es iſt klar, daß ſich die Luft in der geſchwärzten Kugel mehr erwärmen muß als in der durchſichtigen, und daß die Anzeige dieſes Inſtrumentes mit der Stärke des einfallenden Lichtes in Relation ſtehe. Man hat aber gegen die Richtigkeit dieſes Inſtrumentes wohl begründete Bedenken erhoben. (Kurzer Bericht von Verſuchen und Inſtrumenten, die ſich auf das Verhalten der Luft zur Wärme und Feuchtigkeit beziehen, von J. Leslie. Leipzig 1823.)

442. Die oben erwähnten Erfahrungen, nach welchen es den Anſchein hat, als wirke das Sonnenlicht nur in dem Maße erwärmend, als es von Körpern abſorbirt wird, haben die Hypotheſe erzeugt, die Wärme ſey in den Lichtſtrahlen gleichſam gebunden und werde erſt durch Abſorption der erſteren frei. Heut zu Tage unterliegt es aber keinem Zweifel mehr, daß Lichtſtrahlen als ſolche gar nicht wärmen, und daß die erwärmende Kraft der Sonne von eigenen, die Lichtſtrahlen

begleitenden, aber von denſelben ganz unabhängigen Wärmeſtrahlen herrühre, die übrigens denſelben Geſetzen unterliegen, welche für ſtrahlende Wärme überhaupt nachgewieſen worden ſind, mithin auch nur in ſo fern eine Temperaturerhöhung bewirken, als ſie von Körpern abſorbirt werden. Daraus folgt nun, daß die Wärmeſtrahlen der Sonne ſchon beim Eintritt in unſere Atmoſphäre durch Reflexion eine Schwächung erleiden, auf ihrem Wege durch die Atmoſphäre fortwährend wegen der unvollkommenen Diathermanität der Luft Abbruch erfahren, und daß daher deſto wenigere die Erdoberfläche erreichen, je größer ihr Weg durch die Atmoſphäre, je dichter und je trüber dieſe iſt. Man nimmt an, die Luft ſey für alle Arten der Wärmeſtrahlen gleich diatherman, wornach in den die Erde erreichenden Wärmeſtrahlen daſſelbe Verhältniß der verſchiedenen Strahlenarten herrſchen muß, wie bei ihrem Eintritte in die Atmoſphäre. Mittel, welche das Licht concentriren, wie z. B. Hohlſpiegel und Sammellinſen, bewirken auch eine Verdichtung der Wärmeſtrahlen, doch kann eine Linſe den Lichtſtrahlen den Durchgang reichlich geſtatten, die Wärmeſtrahlen aber ſtark abſorbiren, und darum ſteht die Concentration der Wärme nicht immer mit jener des Lichtes in gleichem Verhältniſſe, ja es iſt eine Sammellinſe möglich, in deren Focus das Licht ſehr ſtark concentrirt iſt, ohne die mindeſte Erwärmung zu erregen.

443. Man hat in der neueren Zeit mehrere Mittel angegeben, um zu finden, wie viel Wärme die Sonne einer ſenkrecht beſchienenen Fläche von beſtimmter Größe in einer gewiſſen Zeit mittheile. Unter dieſen ſcheint das von Pouillet angewendete den Vorzug zu verdienen. Dieſer Gelehrte bedient ſich zu dieſem Ende eines eigenen Inſtrumentes, Pyrheliometer genannt. Dieſes beſteht aus einem 1 Decimeter weiten, 14—15 Millimeter hohen Cylinder von dünnem Silberblech, deſſen Baſis ſorgfältig mit Kienruß geſchwärzt iſt, und der etwa 100 Gramm Waſſer enthält. Ein im Waſſer befindliches Thermometer gibt deſſen Temperatur an, und eine beſondere, leicht denkbare Einrichtung bei der Aufſtellung deſſelben macht es möglich, den Cylinder langſam um ſeine Axe zu drehen, und ſo die Temperatur des Waſſers allenthalben gleich zu erhalten. Wenn dieſes Inſtrument nicht von der Umgebung Wärme bekäme oder an dieſelbe abgäbe, während es von directen Sonnenſtrahlen erwärmt wird; ſo dürfte man es nur mit der beſchwärzten Baſis ſenkrecht gegen die Sonnenſtrahlen aufſtellen, und die in einer beſtimmten Zeit bewirkte Temperaturerhöhung beobachten, um die dem Waſſer ertheilte, der Einwirkung der Sonne entſprechende Erwärmung zu erfahren. Allein während der Einwirkung der Sonne wird auch Wärme von der Umgebung aufgenommen oder an ſie abgegeben, und das durch die vorige Weiſe erhaltene Reſultat iſt die Differenz oder Summe zwiſchen der Wirkung der Sonne und jener der Umgebung. Um auch letztere zu erfahren, macht man erſt, wenn das Waſſer im Cylinder ungefähr die Temperatur der Umgebung beſitzt, einen Verſuch im Schatten, und findet ſo die dem Waſſer dabei zu Theil gewordene Erwärmung und Erkältung, läßt dann

den Verſuch im directen Lichte folgen, und fügt einen dritten wieder im Schatten hinzu. Pouillet läßt den erſten und letzten Verſuch 4 Minuten, den mittleren im directen Lichte gemachten 5 Minuten dauern. Iſt T der beobachtete Temperaturzuwachs des Waſſers durch Einwirkung der Sonne, t und t′ die Erwärmung oder Erkältung bei dem erſten und letzten Verſuch; ſo iſt die von der Sonnenwärme dem Waſſer zugeführte Temperaturerhöhung $\delta = T + \frac{t + t'}{2}$, wobei t und t′ mit ihren Zeichen zu nehmen ſind. Iſt d der Durchmeſſer des Cylinders, ſo hält die den Sonnenſtrahlen ausgeſetzte Fläche $\frac{1}{4} d^2 \pi$ Einheiten. Bezeichnet p die Waſſermenge im Gefäße, p′ eine mit dem Gefäße und dem darin befindlichen Theile des Thermometers gleich viel Wärme enthaltende Waſſermaſſe; ſo empfängt jede Flächeneinheit in 5 Minuten die Wärmemenge $\frac{4(p + p')\delta}{\pi d^2}$ und in einer Minute die Wärmemenge $\frac{4(p + p')\delta}{5\pi d^2}$. Pouillet fand für ſein Inſtrument dieſen Ausdruck $= 0{,}2624\ \delta$. Dieſer Gelehrte berechnete für verſchiedene Sonnenſtände die Dicke der von den Sonnenſtrahlen durchfahrenen Luftſchichte und ſuchte dafür die entſprechenden Werthe von δ. Dabei fand er, daß ſich die erhaltenen Reſultate ſehr gut durch die Formel $\delta = A p^{\varepsilon}$ darſtellen laſſen, in welcher A eine vom Zuſtande der Atmoſphäre unabhängige conſtante Größe $= 6^{\circ},72$, hingegen p eine mit dieſem Zuſtande wechſelnde Größe iſt, die an heiteren Tagen innerhalb der Grenzen 0,72 und 0,79 wechſelt; ε iſt die Dicke der durchfahrenen Luftſchichte, die Höhe der Atmoſphäre im Zenith = 1 geſetzt. Da für $\varepsilon = 0$, $\delta = A = 6^{\circ},72$ iſt, ſo ſieht man, daß die an der äußerſten Grenze der Atmoſphäre in ſie eindringenden Sonnenſtrahlen einer ſenkrecht beſchienenen Fläche von 1 Q. Centimeter in 1 Min. eine Erwärmung mittheilen, durch welche 1 K. Centimeter Waſſer um $6^{\circ},72$ erwärmt wird. Die Größe $6{,}72 \times 0{,}2624 = 1{,}7633$ bezeichnet demnach die jener Flächeneinheit in 1 Min. mitgetheilte Wärmemenge. Für $\varepsilon = 1$ wechſelt δ bei heiterem Himmel von 0,72 R. bis 0,79 R., die durch Abſorption der Luft verminderte Erwärmung von 0,28 — 0,21, d. h. ſelbſt bei heiterem Himmel werden durch die Luft 21—28 p. C. Wärmeſtrahlen abſorbirt. (Pouillet in Pogg. Ann. 45. 25.)

444. Leitet man Sonnenlicht durch ein dreiſeitiges Prisma von Steinſalz, ſo erhält man zugleich ein Licht- und Wärmeſpectrum, und in letzterem iſt wegen der vollkommenen Diathermanſie des Steinſalzes die Wärme ſo vertheilt, wie es ihr Verhältniß im Sonnenlicht mit ſich bringt. Man findet da, daß die Wärme von dem violetten Theile zum rothen hin zunimmt, daß aber das Wärmeſpectrum um $\frac{1}{3}$tel des Lichtſpectrums über den rothen Theil hinausreicht. Das Maximum der Wärme herrſcht außerhalb des Roth in einer beträchtlichen Entfernung von der äußerſten Grenze desſelben. Prismen aus minder vollkommen diathermanen Stoffen geben nur, wenn ſie die Strahlen nahe an der Kante des brechenden Winkels auffangen, mithin dort, wo

die Dicke des Prisma's ſehr gering iſt, dieſelbe Wärmevertheilung wie ein Steinſalzprisma; in einer größeren Entfernung von dieſer Kante hat der Grad der Diathermanſie Einfluß auf dieſe Vertheilung, und ſie iſt verſchieden nach Maßgabe der Natur des Prisma, ſeiner Dicke und ſeines brechenden Winkels. Da die brechbaren Wärmeſtrahlen zugleich die leichter abſorbirbaren ſind, ſo führen nicht vollkommen diathermane Prismen die wärmſte Stelle näher ans Violett.

Ein Prisma von blauem Kobaltglas, welches das Lichtſpectrum ſehr ſtark ändert, und abwechſelnd lichte und dunkle Zonen in demſelben erzeugt, liefert aber ein Wärmeſpectrum mit regelmäßig und ſtetig abnehmender Wärme zu beiden Seiten des Wärmemaximums. Ein aus Waſſer und einem mit Kupferoxyd gefärbten Glaſe gebildetes Prisma liefert ein Lichtſpectrum ohne Wärme, und eines aus ſchwarzem Glaſe ein Wärmeſpectrum ohne Licht. Nach Seebeck fällt die wärmſte Stelle des Spectrums außerhalb des Roth, wenn das Prisma aus Flintglas beſteht, hingegen in das Roth ſelbſt, wenn das Prisma aus Crownglas oder aus gewöhnlichem weißen Glaſe gemacht iſt, oder gar in Gelb bei einem durch Glasſcheiben gebildeten, mit Waſſer, Alkohol oder Terpentinöhl gefüllten Gefäße, endlich zwiſchen Roth und Gelb, wenn dieſes hohle Prisma mit ſtarker farbloſer Schwefelſäure oder mit einer klaren Löſung von Queckſilberſublimat gefüllt iſt. Man kann die Vertheilung der Wärme im Spectrum nach Herſchel leicht ſichtbar machen, wenn man ein Blatt dünnes Papier durch eine rußende Flamme ſchwärzt, es dann auf ein Bret aufzieht, die weiße Seite mit Alkohol benetzt und das Spectrum darauf fallen läßt. Da die ſtärker erwärmten Stellen eher trocknen als die anderen; ſo erkennt man aus dem Auftreten mehr oder minder heller Flecken am Papier leicht die Stellen, wo Wärmeſtrahlen am ſtärkſten wirken. Herſchel bemerkte, als er ſich eines Flintglasprisma's bediente, in dem minder gebrochenen Theile des Sonnenwärmeſpectrums mehrere Unterbrechungen, ähnlich den Fraunhofer'ſchen Linien im Lichtſpectrum, aber gewiß von einer gleichen Urſache herrührend. (Herſchel's Unterſuchungen über die Natur der Sonnenſtrahlen. Celle 1801. Seebeck über die Wärme im prismatiſchen Sonnenbilde. In den Abhandlungen der Berliner Akademie. Berlin 1820. S. 393 u. ſ. w. Melloni in Pogg. Ann. 39. 558.) — Wie aus den im eilften Kapitel angeführten Erſcheinungen erhellet, gibt es außer der erwärmenden Wirkung der Sonnenſtrahlen noch eine andere, welche in der Hervorrufung chemiſcher Proceſſe beſteht. Man ſchreibt letztere Wirkung die ſich nicht auf das Sonnenlicht beſchränkt, ſondern auch dem Lichte anderer Quellen eigen iſt, dem Lichte als ſolchen zu, weil ſie da fehlt, wo der optiſche Effect durch Interferenz aufgehoben wird. Jedoch iſt dieſes nicht ſo zu verſtehen, daß die Strahlen, welche chemiſche Effecte hervorzubringen vermögen, nothwendig die Netzhaut unſeres Auges afficiren müſſen, wenn gleich Herſchel d. j. auch über das violette Ende des Sonnenſpectrums hinaus, wo ſich kräftige chemiſche Strahlen vorfinden, Spuren von optiſcher Action wahrgenommen hat. Der Ausſpruch der Identität der optiſchen und chemiſchen Wirkſamkeit des Lichtes bezieht ſich nur auf die gemeinſchaftliche Qualität der Urſachen beider Effecte, wobei die Grenzen, innerhalb welcher die quantitativen Beſtimmungen dieſer Urſachen liegen, immerhin verſchieden ſeyn können. Zur ſelbſtſtändigen chemiſchen Action der Lichtſtrahlen wird eine größere Rapidität der Aetherſchwingungen erfordert, als ſie dem rothen oder gelben Lichte eigen iſt; die ſo eben genannten Lichtſorten können höchſtens bereits begonnene chemiſche

Wirkungen fortſetzen, während Aetherſchwingungen die raſcher vor ſich gehen, ja ſelbſt raſcher als die des violetten Lichtes, die Affinität der Stoffe ſelbſtſtändig zu modificiren vermögen. Sonach verhalten ſich die chemiſchen Strahlen zu den optiſchen, wie Strahlen von einer Farbe zu denen welchen der Eindruck einer anderen Farbe entſpricht. Von den wärmeerzeugenden Strahlen, welche die Lichtſtrahlen begleiten, kann man, wenigſtens dem gegenwärtigen Stande der Wiſſenſchaft gemäß, nicht dasſelbe ſagen. Melloni unterſcheidet dreierlei Sonnenſtrahlen, nämlich nicht bloß leuchtende und erwärmende, ſondern auch chemiſch wirkende als Strahlen eigener Art, und ſchreibt letzteren wie erſteren eigene Geſetze der Transmiſſion zu.

445. Eine ſehr reichhaltige, aber bei weitem noch nicht hinreichend erforſchte Quelle der Wärme iſt die Reibung. Es iſt bekannt, daß ſich eiſerne Werkzeuge, wie Bohrer, Sägen, Radſchuhe ꝛc. beim Gebrauche ſtark erhitzen, daß ungeſchmierte Wagenaxen und die Zapfen ſchnell bewegter Maſchinen ſich eben ſo verhalten, daß zwei ſtark zuſammengedrückte und ſchnell über einander bewegte Stücke Holz ſich entzünden können. Die unter denſelben Umſtänden beim Reiben erzeugte Wärmemenge iſt nach Becquerel von der Wärmeleitung und Capacität der ſich reibenden Körper ganz unabhängig, nur wächſt ſie mit der Kraft, wodurch die Körper an einander gedrückt werden. Auch die Beſchaffenheit ihrer Oberfläche ſcheint im Allgemeinen ohne Einfluß auf das hier in Rede ſtehende Phänomen zu ſeyn, nur beim Reiben zweier Körper von gleicher Natur, deren einer glatt, der andere geritzt iſt, erhitzt ſich letzterer mehr als erſterer. Die Wärmeentwicklung dauert fort, ſo lange das Reiben währt, ſteht jedoch mit der Dauer der Bewegung nicht im nämlichen Verhältniſſe, und es hat den Anſchein, als wäre hierin gar keine Erſchöpfung der Körper möglich. Sie geht im leeren Raume vor ſich wie in der Luft. Man war bis jetzt noch nicht im Stande, den inneren Grund der Wärmeentwicklung beim Reiben anzugeben, ja es ſcheint als wenn hiedurch die Wärme nicht bloß frei gemacht, ſondern wirklich erzeugt würde.

446. Stoß und Druck ſind eine andere nicht unausgiebige Quelle von Wärme. Percuſſionspulver braucht zur Entzündung nur einen kräftigen Schlag, Knallſalze entzünden ſich beim geringſten Stoße, eine Eiſenſtange kann durch Hämmern auf einem Ambos bis zum Glühen erhitzt werden. Beim gewöhnlichen Feuerſchlagen mittelſt Stein und Stahl werden durch einen raſchen Stoß Stahlſtücke losgeſchlagen und zugleich bis zum Schmelzen glühend gemacht, wie man ſich überzeugen kann, indem man die glühenden, als Funken erſcheinenden Stückchen mit einem Mikroſkope anſieht, wo ſie als verbrannte Kugeln erſcheinen. Wird ein Gas bis etwa $1/5$ ſeines Volums raſch zuſammengedrückt, ſo erhitzt es ſich bis zum Glühendwerden und kann dann ſelbſt einen Schwamm anzünden. Darauf beruht der Gebrauch des Luftfeuerzeuges, eines mit einem luftdicht ſchließenden Kolben verſehenen, einerſeits geſchloſſenen Cylinders. Es unterliegt keinem Zweifel, daß die Erwärmung durch Stoß und Druck eine Folge der hiedurch bewirkten Capacitätsverminderung ſey. Da nämlich jeder

Körper eine eigene Ausdehnungswärme hat (385), ſo muß er einen Theil derſelben fahren laſſen, ſobald ſein Volum durch einen äußeren Druck vermindert wird. In der That bemerkt man auch in Fällen, wo Stoß oder Druck Wärme erregt haben, daß der betreffende Körper dichter geworden ſey, namentlich iſt dieſes bei den Metallen nach dem Hämmern der Fall. Die erſten Stöße oder Schläge haben die größte Verdichtung und auch die reichlichſte Wärmeentwicklung zur Folge, und ſolche Körper, welche auf dieſem Wege keine oder eine nur unmerkliche Verdichtung erfahren, wie z. B. tropfbare Flüſſigkeiten, erleiden auch durch Stoßen und Drücken keine Erwärmung. Ein Stoß erſcheint in der hier beſprochenen Beziehung darum ſo ausgiebig, weil er nur die zunächſt getroffenen Maſſentheile afficirt und dieſe darum auch ſtark verdichtet. Für Körper, deren Ausdehnungswärme bekannt iſt, könnte man auch die durch einen beſtimmten Druck erzeugte Erwärmung berechnen. Gegenwärtig iſt dieſes nur bei Gaſen der Fall.

Berthollet fand, daß ſich eine Kupferplatte auf einem Münzprägeſtock durch den erſten Stoß des Stempels um 9°,69, durch den zweiten um 4°,06, durch den dritten um 1°,06, im Ganzen alſo um 14,°81 erwärmte, ihr ſpec. Gewicht aber von 8,8599 auf 8,9081 ſtieg. Eine Silberplatte erfuhr durch dieſelbe Behandlung eine Erwärmung von 8°,19, und eine Verdichtung von 10,4667 auf 10,4838. Gold erhitzte ſich noch weniger und erfuhr eine noch geringere Verdichtung. Für chemiſch einfache Gaſe iſt die Ausdehnungswärme bei einer Volumenvergrößerung von $^1/_{274}$tel des anfänglichen Rauminhaltes = 0,421, für zuſammengeſetzte Gaſe = 0,337, für jede andere Compreſſion iſt ſie dieſer proportionirt. Die dieſer Wärmeentwicklung entſprechende Temperaturerhöhung ſteht im verkehrten Verhältniſſe zur Capacität.

447. Es iſt leicht einzuſehen, daß Verdünnung eines Körpers eben ſo Quelle von Kälte, d. h. von Wärmeabſorption ſeyn müſſe, als Verdichtung Wärmeentwicklung, d. h. Erwärmung zur Folge hat. Legt man ein dünnes Streifchen Kautſchuk auf die Lippen, und vermindert durch einen ſchnellen Zug deſſen Dichte, ſo empfindet man die dabei Statt habende Erkältung. Wird in einem Gefäße die Luft ſtark verdichtet und hierauf abgewartet, bis ſie die Temperatur der Umgebung angenommen hat, dann aber ihr geſtattet, durch eine kleine Oeffnuug auszuſtrömen; ſo erkaltet ſie ſich dabei ſo ſehr, daß ſie ſelbſt im Sommer eine kleine Portion Waſſer zum Gefrieren bringen kann. Auch die aus dem Sicherheitsventile eines Dampfkeſſels ausſtrömenden, ſtark geſpannten Waſſerdämpfe fühlen ſich kalt an.

448. Es iſt bereits im zweiten Abſchnitte angeführt worden, daß ein elektriſcher Strom Körper, durch welche er geht, erwärmen kann, er mag nun kurz dauern, wie der einer Leidnerflaſche oder einer Batterie, oder anhaltend ſeyn, wie der Strom einer Volta'ſchen Säule. Schon der vom Conductor einer Elektriſirmaſchine oder von einem Elektrophor kommende Funke entzündet Knallluft (elektriſche Piſtole, Zündmaſchine), Schwefeläther, Colophoniumſtaub, Phosphor; um ſo leichter bewirkt dieſes der verſtärkte Funke einer Leidnerflaſche. In allen dieſen Fällen iſt der entzündete oder erhitzte Körper nur ein Theil

des Schließungsbogens, und der Funke der in der Luft ſichtbar gewordene elektriſche Strom. Die Erhitzung tritt aber auch ein, wenn der Strom nicht erſt einen ſchlechten Leiter durchbrechen muß, und daher kein Funke erſcheint, ſondern ganz im leitenden Schließungsbogen fortgeht. Leitet man den Schlag einer geladenen Leidnerflaſche oder Batterie durch einen angemeſſenen Metalldraht, ſo kann dieſer glühend werden oder gar ſchmelzen, ja ſogar eine Verflüchtigung erleiden. Dasſelbe erfolgt, wenn man die Pole einer Volta'ſchen Säule oder ſelbſt eines Elementes durch einen angemeſſenen Draht verbindet. Natürlich reicht die durch einen elektriſchen Strom erregte Wärmemenge nicht immer aus, um Glühhitze zu erzeugen, ja ſie bewirkt oft eine ſo geringe Erwärmung, daß man ſie nur wahrnehmen kann, wenn man den Strom durch einen durch die Kugel eines Luftthermometers geführten Draht oder durch eine dem Breguet'ſchen Thermometer ähnliche Spirale leitet. Dieſe Mittel dienen aber auch zugleich dazu, die Statt gefundene Temperaturerhöhung zu meſſen.

449. Eine gegebene Elektricitätsmenge von beſtimmter Dichte, d. h. ein elektriſcher Strom von gegebener Intenſität, erregt in einem von ihr durchſtrömten Körper immer eine beſtimmte Wärmemenge, die nur von der Beſchaffenheit dieſes Körpers abhängt. Bei gleich langen Schließungsbögen derſelben Natur, z. B. bei Drähten aus demſelben Metall, iſt die erregte Wärmemenge dem Querſchnitte des Drahtes verkehrt proportionirt; verlängert man den Draht, ſo vermindert ſich die erregte Wärme im Verhältniß zur Drahtlänge. Durch geringere Leitungsfähigkeit wird der Strom verzögert, und die Wärmemenge geſteigert. Die Temperaturerhöhung, welche ein ſolcher Draht erleidet, hängt natürlich außer der erzeugten Wärmemenge auch noch von ſeiner Dichte und Wärmecapacität und von der ableitenden Kraft des Mittels ab, worin er ſich befindet. Ein Draht, der als Polardraht einer Volta'ſchen Säule in der Luft glühend wird, erfährt im Schwefeläther eine kaum merkliche Temperaturerhöhung, kann aber im leeren Raume gar dadurch zum Schmelzen gebracht werden. (Rieß in Pogg. Ann. 40. 321; 43. 47; 45. 1. Vorſſelman ebendaſ. 46. 519; 48. 292.)

450. Wenn ein Schließungsdraht aus Stücken mehrerer Metalle beſteht, ſo erfährt jedes Stück die ſeiner Natur angemeſſene Erwärmung; nur in den Verbindungsſtellen zweier Metalle wird durch ſchwache Ströme mehr Wärme hervorgerufen als an anderen; ja es iſt in dieſer Beziehung nicht einmal gleichgültig, in welcher Richtung die Elektricität dieſe Leiter durchſtrömt, beſonders gilt dieſes von Strömen, welche durch zuſammengefügte kryſtalliſirte Metalle gehen (S. 488).

451. Zu den Mitteln, Wärme zu erzeugen, gehören auch die chemiſchen Verbindungen. Dieſes beweiſen unzählige Erſcheinungen: Lebendiger Kalk erhitzt ſich mit Waſſer, eben ſo Schwefelſäure; Kalk, Baryt, Strontian können in Berührung mit Schwefelſäure ſogar glühend werden; Terpentinöhl wird durch ſtarke Salpeterſäure bis

zur Entzündung erhitzt, chlorſaures Kali erzeugt mit Schwefelſäure ſo viel Wärme, daß man damit Schwefel anzünden kann (chemiſches Feuerzeug) ꝛc. Es gibt auch chemiſche Actionen, bei denen Wärme verſchluckt wird, alſo Erkältung eintritt, namentlich muß dieſes bei Zerlegung ſolcher Verbindungen der Fall ſeyn, welche bei ihrer Bildung Wärme entwickelten. Bei zuſammengeſetzten chemiſchen Proceſſen beſtimmt das Uebergewicht des einen oder anderen Partialproceſſes, ob das Geſammtreſultat in Erwärmung oder Erkältung beſtehe. Gewiß iſt, daß wenn man die bei den verſchiedenen einfachen chemiſchen Verbindungen entwickelte Wärme ausgemittelt hätte, man die bei zuſammengeſetzten Proceſſen, wo Verbindungen und Zerlegungen zugleich vorkommen, entwickelte oder verſchluckte Wärmemenge voraus beſtimmen könnte.

452. Chemiſche Verbindungen, bei denen nicht gleichzeitig Zerſetzungen Statt finden, ſcheinen immer mit Wärmeentwicklung verbunden zu ſeyn; gewiß iſt es, daß dieſes bei allen Sauerſtoffverbindungen der Fall iſt. Auch iſt die entwickelte Wärmemenge bei übrigens gleichen Umſtänden deſto größer, je inniger die ſich bildende Verbindung iſt, und kann ſonach als Maßſtab für die dabei herrſchende Verwandtſchaft angeſehen werden. Da, wo ſich zwei Stoffe in mehreren Verhältniſſen verbinden, wirken bei der erſten Verbindung größere Verwandtſchaftskräfte als bei der zweiten, bei dieſer größere als bei der dritten, und auch die Menge der frei gewordenen Wärme befolgt dasſelbe Geſetz. Ja noch mehr: Gleichwie die Quantitäten, in denen ſich die Stoffe mit einander verbinden, conſtant ſind, und da, wo es mehrere Verbindungen derſelben gibt, auch die Gewichtsmengen des einen bei gleicher Quantität des anderen in ſehr einfachen Verhältniſſen zu einander ſtehen; eben ſo ſind die Quantitäten der dabei frei werdenden Wärme conſtant, und ſtehen in beſtimmten einfachen Verhältniſſen zu einander. Dabei kommt es aber nicht darauf an, ob die Verbindung ſchnell oder langſam, mittelbar oder unmittelbar vor ſich gehe, und ob ſie auf einmal oder ſtufenweiſe erfolge. Die entwickelte Wärmemenge bleibt in allen dieſen Fällen dieſelbe.

Die Wärmemenge, welche ſich entwickelt, wenn ſich Sauerſtoff mit Kohlenſtoff zu Kohlenſäuregas verbindet, iſt doppelt ſo groß, als wenn der Sauerſtoff durch Aufnahme einer größeren Menge Kohlenſtoff Kohlenoxyd liefert. Wenn ſich ein Aequivalent Schwefelſäure SO_3 mit einem Aequivalent Waſſer H_2O verbindet, ſo wird eine größere Wärmemenge frei, als wenn das ſo gebildete Hydrat abermal 1, 2, 3 Aequivalente Waſſer aufnimmt, und zwar erhält man nachfolgende Wärmemengen, jene als Einheit angenommen, durch welche eine Maſſeneinheit Waſſer um 1° C. erwärmt wird.

SO_3 mit H_2O	gibt die Wärmemenge .	310,4
$SO_3 + H_2O$ mit H_2O	» » » » . .	77,86
$SO_3 + 2H_2O$ mit H_2O	» » » » . .	38,9
$SO_3 + 3H_2O$ mit $3H_2O$	» » » » . .	38,9
$SO_3 + 6H_2O$ mit nH_2O	» » » » . .	38,9
in Summa	. . . .	504,96

Letztere Zahl gibt die Wärmemenge an, welche entwickelt wird, wenn man

Schwefelſäure mit Waſſer überſättiget. Es iſt aber 77,86 = 2 × 38,9; 310,4 = 8 × 38,9. Ueberſättigt man auf einmal Schwefelſäure mit Waſſer, ſo beträgt die entwickelte Wärmemenge 504,96; gibt man aber zur waſſerfreien Säure zuerſt ein Aequivalent Waſſer, und dann erſt das zur Ueberſättigung nöthige Waſſerquantum, ſo wird im erſten Falle die Wärmemenge 310,4, im letzteren die Wärmemenge 194,56 frei; und man hat weder 310,4 + 194,56 = 504,96.

453. Ungeachtet der hier beſprochene Gegenſtand erſt ſeit kurzem die längſt verdiente Aufmerkſamkeit der Naturforſcher auf ſich gezogen hat, und von einer vollendeten Abgeſchloſſenheit deſſelben noch keine Rede ſeyn kann; ſo hat man doch ſchon manches recht intereſſante allgemeine Reſultat gewonnen, deren die wichtigſten hier folgen: Baſen entwickeln immer Wärme, wenn ſie ſich mit Waſſer verbinden, und zwar, nach Maßgabe der obwaltenden Verwandtſchaft, eine Baſe mehr als die andere. Verſchiedene vollſtändig mit Waſſer geſättigte Baſen geben mit derſelben Säure immer dieſelbe Menge Wärme, für verſchiedene Säuren aber eine verſchiedene. Es iſt aber die Wärme, welche eine Säure mit einer waſſerhältigen Baſe entwickelt, eigentlich nur die Differenz zweier Wärmemengen, nämlich derjenigen, welche ſich bei der Verbindung einer trockenen Baſe mit einer Säure, und dann jener, welche ſich bei der Verbindung derſelben Baſe mit Waſſer entwickelt. Zwei ſich gegenſeitig zerſetzende Neutralſalze entwickeln bei ihrer Vermiſchung keine Wärme, ſobald jede der beiden Baſen mit einer der beiden Säuren gleiche Wärmemengen entwickelt.

Folgende numeriſche Wärmeangaben können theils als Belege für die ſo eben genannten Naturgeſetze, theils zum Behufe der Löſung verſchiedener thermiſchen Aufgaben dienen. Schwefelſäurehydrat gibt mit Kali, Natrum, Ammoniak die Wärmemenge 602, Salpeterſäurehydrat mit denſelben Baſen 409, Salzſäurehydrat 366. Bei der Verbindung der Schwefelſäure mit Kali zu ſchwefelſaurem Kali wird demnach die Wärmemenge 601, bei der Vereinigung der Salpeterſäure mit Kalk die Wärmemenge 451, durch beide Proceſſe hiemit das Wärmequantum 1052 frei. Eben ſo erhält man bei Vermiſchung der Salpeterſäure mit Kali die Wärmemenge 409, und bei Verbindung der Schwefelſäure mit Kalkhhdrat die Wärmemenge 642, alſo auch in Summa 1051; demnach kann bei der Zerſetzung des ſchwefelſauren Kali durch ſalpeterſauren Kalk und Bildung von ſalpeterſaurem Kali und ſchwefelſaurem Kalkhydrat keine Wärmeänderung eintreten. Die den nachſtehenden Stoffen beigeſetzten Zahlen geben die Anzahl Wärmeeinheiten an, welche ſich entwickeln, wenn ſich die Stoffe mit Sauerſtoff verbinden: 1 Liter Waſſerſtoff 3106; 1 Liter Kohlendampf 7858; Ein Gramm Schwefel 2601; Eiſen auf 1 Liter damit verbundenen Sauerſtoff 6216, Zinn 6509, Zink 7577, Kobalt 5721, Nickel 5333. (Heß in Pogg. Ann. 47. 210; 50. 385; 52. 97; 114, 118; 53. 499. 535; in Erdmann's Journ. 22. 185; Ebelmen ebend. 22. 190. Dulong in Pogg. Ann. 54. 461. Andrew's Arbeit, (Pogg. Ann. 54. 208) ſcheint noch einer weiteren Beſtätigung zu bedürfen.)

454. Es iſt ſchon vorher erwähnt worden, daß bei zuſammengeſetzten chemiſchen Proceſſen nicht immer die Wärme erregenden Urſachen das Uebergewicht haben, ſondern daß ſich dieſes manchmal auf Seite

der wärmeabſorbirenden befinde, und ſomit das Geſammtreſultat in einer Erkaltung beſtehen müſſe. Es gibt ſolche Vorgänge, wobei die Menge der abſorbirten Wärme ſehr bedeutend iſt; geht die Abſorption überdieß auch noch ſchnell vor ſich, ſo können dadurch ſehr hohe Kältegrade erzeugt werden.

Hierauf beruhen auch die ſogenannten kaltmachenden Miſchungen. Bei

einer Miſchung von	fällt die Temperatur
3 Th. Salmiak, 5 Salpeter, 16 Waſſer	von + 10° bis — 10° R.
3 » Glauberſalz, 2 Salpeterſäure	» 10 » — 12
8 » » 5 Salzſäure	» 10 » — 14
1 » Schnee, 1 Kochſalz	» 0 » — 14
3 » ſalzſaurem Kalk, 2 Schnee	» 0 » — 36
1 » Schnee, 1 Schwefelſäure	» — 5 » — 41
1 » » 1 Salpeterſäure	» — 14 » — 35
2 » ſalzſaurem Kalk, 1 Schnee	» — 14 » — 44.

455. Die Aenderungen der Temperatur bei chemiſchen Prozeſſen und bei der Aenderung des Aggregationszuſtandes eines Körpers ſind gewöhnlich ſehr bedeutend, und daher aus ihrer Wirkung leicht wahrzunehmen. Es gibt aber ſolche Aenderungen, die nur in einem ſehr geringen Grade, und zwar dann Statt finden, wenn feſte Körper von Flüſſigkeiten benetzt, oder wenn flüſſige Stoffe eingeſogen werden, ſo daß man das Benetzen und Eingeſogenwerden gleichſam als einen geringen Grad der Formänderung eines Körpers anſehen kann. Die erſten Erfahrungen im Reiche dieſer Phänomene machte Pouillet mit Thermometern, wodurch eine Temperaturänderung von 0°,01 C. bemerkt werden konnte, und fand, daß bei dem Benetzen und Einſaugen immer Wärme frei werde. Iſt die netzende Flüſſigkeit Waſſer, ſo iſt für alle unorganiſche Stoffe die frei werdende Wärme innerhalb der Grenzen von $^1/_4$° bis $^1/_2$° enthalten, es finden aber faſt dieſelben Grenzen Statt, wenn man ſtatt Waſſer, Oehle, Alkohol, Eſſigäther nimmt. Bei der Abſorption iſt die Wärmeentwicklung größer als beim bloßen Benetzen, wie man es leicht vorausſehen kann, wenn man bedenkt, daß Abſorption eigentlich ein verſtärktes Benetzen iſt. (Schweigg. J. 36. 193.)

456. Eine höchſt merkwürdige Wärmequelle iſt der Lebensprozeß. Menſchen und Thiere beſitzen im normalen Zuſtande ihrer Lebensthätigkeit eine eigenthümliche, von der äußeren Umgebung unabhängige Temperatur. Da nun der thieriſche Körper, wie jeder andere, der wärmer iſt als die Umgebung, Wärme an dieſelbe abgeben muß, und zwar in derſelben Zeit deſto mehr, je größer die Differenz zwiſchen ſeiner Temperatur und jener der Umgebung iſt; ſo muß auch, um eine conſtante Temperatur zu bewahren, die Erzeugung von Wärme mit der Abnahme der Temperatur der Umgebung wachſen. Dieſe Quelle der Wärme muß ferner in allen Theilen des thieriſchen Körpers wirkſam ſeyn, wo Blut circulirt; denn alle dieſe Theile, aber auch nur dieſe, haben ihre eigene Temperatur. Dem inneren Grunde dieſer Lebenswärme haben die Phyſiologen von jeher nachgeforſcht und ſich

davon die mannigfaltigſten, oft ſehr unklare Vorſtellungen gemacht. Erſt in der neueſten Zeit hat der berühmte deutſche Chemiker Liebig dieſen wichtigen Gegenſtand ins gehörige Licht geſetzt. Nach ihm iſt die Entwicklung der thieriſchen Wärme die Folge der Verbindung des Kohlenſtoffes und Waſſerſtoffes mit dem Sauerſtoffe zu Kohlenſäure und Waſſer. Es wird nämlich fortwährend atmoſphäriſche Luft eingeathmet, der darin enthaltene Stickſtoff aber ſammt Kohlenſäuregas und Waſſerdampf ausgeathmet; letztere Stoffe werden überdieß noch durch die Hautausdünſtung abgeſondert. Den Kohlenſtoff und Waſſerſtoff zu dieſen Producten liefert der thieriſche Körper ſelbſt, den Sauerſtoff die eingeathmete Luft. Die Verbindung des Sauerſtoffes mit brennbaren Stoffen kann aber durchaus nicht ohne Wärmeentwicklung vor ſich gehen, ja es iſt die dadurch entwickelte Wärmemenge dieſelbe, als wenn ſolche Stoffe in freier Luft und in Sauerſtoffgas verbrannt würden. Der auf ſolche Weiſe fortwährend abgeſchiedene Kohlenſtoff und Waſſerſtoff wird dem Körper durch jene Nahrungsmittel wieder erſetzt, die wegen Mangel an Stickſtoffgehalt nicht geeignet ſind, Blut zu bilden, wie Zucker, Gummi, Stärke, Weingeiſt, Fett. Aus dieſer Anſicht erklären ſich alle in Bezug auf thieriſche Wärme Statt findenden beſonderen Erſcheinungen. Man begreift daraus, warum nur jene Körpertheile, welche mit arteriellem Blute und dadurch mit Sauerſtoff in Berührung kommen, eine eigene Wärme haben; warum mit Verminderung der Lufttemperatur und der dadurch vermehrten Quantität des eingeathmeten Sauerſtoffes die Wärmeerzeugung zunimmt, und zwar gerade in dem Maße, als der Wärmeabfluß an die Umgebung größer wird; warum Thiere, welche ſchnell athmen, eine höhere Temperatur beſitzen als andere, die langſam Athem holen; warum der Aufenthalt im Freien, wo ein größerer Wärmeverluſt durch Ausſtrahlen und Mittheilung Statt findet, auch zugleich die Eßluſt erhöht; warum in dem Maße, als mehr Sauerſtoff eingeathmet wird, auch mehr Nahrung aufgenommen werden müſſe; warum Bewegung und körperliche Anſtrengung eine erhöhte Wärmeentwicklung und das größere Verlangen nach Speiſe zur Folge hat; warum bei Mangel an Nahrung zuerſt das Fett, welches bloß Kohlenſtoff, Waſſerſtoff und Sauerſtoff enthält, vermindert wird :c. (Liebig in den Annalen der Chemie und Pharmacie. 41. 189. Vergleiche Tiedemann's Phyſiologie des Menſchen. Darmſtadt, 1830. 1. 447.)

Nach Lavoiſier nimmt ein erwachſener Menſch täglich 46037 Kub. Zoll Sauerſtoff im Gewichte von 65 Loth auf; ferner verzehrt ein ſolcher im Zuſtande mäßiger Bewegung täglich 27,8 Loth Kohlenſtoff. Letzterer fordert, um in Kohlenſäure verwandelt zu werden, 74 Loth Sauerſtoff und den größten Theil davon liefert demnach die Atmoſphäre, den kleineren die aufgenommenen ſtickſtofffreien Nahrungsmittel. 1 Loth Kohlenſtoff entwickelt beim Verbrennen ſo viel Wärme, daß man damit 78 Loth Waſſer von 0° — 100° erwärmen kann, demnach jene 27,8 Loth Kohlenſtoff ſo viel, daß man damit 27,8 × 78 = 2168,4 Loth = nahe 67,8 Pfd. eiskaltes Waſſer ſiedend heiß, oder nahe 11,3 Pfd. Waſſer in Dunſt verwandeln kann. Die Ausdünſtung durch Haut und Lunge beträgt beim Menſchen in 24 Stunden nahe 3 Pfd., ſo daß noch die

zum Verdünſten von 8,3 Pfd. Waſſer oder zum Erhitzen von 49,8 Pfd. von 0 — 100° nöthige Wärme übrig bleibt, um die ausgeathmete Luft, die flüſſigen und feſten Excremente zu erwärmen und den Wärmeverluſt an die Umgebung zu erſetzen.

Sechstes Kapitel.

Ueber Verbrennen.

457. Es gibt chemiſche Verbindungen, bei denen die entwickelte Wärme bis zur Glühhitze ſteigt, und demnach Wärme und Licht zugleich auftreten. Man nennt dieſen Prozeß Verbrennen, ohne auf die Natur der Körper Rückſicht zu nehmen, welche ſich mit einander verbinden und den Prozeß unterhalten. Neueſtens hat man den Begriff des Verbrennens auf Verbindungen des Sauerſtoffes mit ihm verwandten Körpern beſchränkt, und ſieht nicht einmal Licht- und Wärmephänomene als weſentliche Charaktere dieſes Herganges an, indem man von einem raſchen, mit Wärme und Licht verbundenen Verbrennen und von einem langſamen, oft ohne merkliche Lichterſcheinung vor ſich gehenden ſpricht. Wir wollen hier vorzüglich den mit Wärme- und Lichtentwicklung vor ſich gehenden Oxydationsprozeß mit dem Worte Verbrennen bezeichnen und deſſen Geſetze erörtern, und können dieſes mit ſo mehr Beruhigung thun, als die phyſikaliſchen Geſetze dieſes Proceſſes auf jedes im weiteren Sinne gemeinte Verbrennen paſſen.

458. Zum Verbrennen gehören nothwendig zwei Stoffe, wovon einer nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche das Verbrennen erleidet, der andere aber es unterhält. Erſterer heißt Brennſtoff, letzterer Zündſtoff. Beim Verbrennen im hier gemeinten Sinne des Wortes iſt immer der Sauerſtoff der Zündkörper, und was ſich mit demſelben verbindet der Brennſtoff; im weiteren Sinne genommen kann aber derſelbe Körper bald Brennſtoff, bald Zündſtoff ſeyn, wie dieſes z. B. beim Schwefel der Fall iſt, der in einer Sauerſtoffatmoſphäre den Brennſtoff abgibt, während er, wenn man z. B. in einer Schwefeldunſtatmoſphäre Kupfer verbrennt, als Zündſtoff wirkt.

459. Das Verbrennen findet, wie jede chemiſche Verbindung, nur bei einer beſtimmten Temperatur Statt. Bei vielen Körpern reicht dazu ſchon die gewöhnliche Lufttemperatur hin, und dieſe entzünden ſich demnach ſchon von ſelbſt, ſobald ſie in die Luft oder in Sauerſtoffgas kommen. Man nennt ſie Pyrophore, Selbſtzünder (wie z. B. Kalialaun mit Kohlenpulver geglüht, 2½ Gewichtstheile reine, des Kryſtalliſationswaſſers beraubte Weinſteinſäure mit 8 Theilen Bleiſuperoxyd gerieben). Die meiſten Körper brauchen aber eine Temperaturerhöhung, um zu verbrennen. Dieſe hängt von der Natur des Brennſtoffes, ſeinem Vertheilungszuſtande und davon ab, ob das Verbrennen raſch oder langſam vor ſich gehen ſoll. Zum langſamen Verbrennen braucht man nur Rothglühhitze, zum raſchen Verbrennen iſt aber Weißglühhitze nöthig. Ausdehnſame Körper brauchen in der Regel eine höhere Temperatur, als tropfbare oder feſte; fein zertheilte

Stoffe erhalten leichter die zum raſchen Verbrennen nöthige Temperaturerhöhung, weil die Iſolirung der einzelnen Theile dem Abfließen der Wärme entgegen ſteht, und daher die Wärme mehr zuſammengehalten wird.

Phosphor brennt ſchon bei 60°, Schwefel bei 294°, Waſſerſtoffgas bei 300° C., öhlbildendes Gas bei einer noch höheren Temperatur. Die poröſe Kohle, wie ſie beim unterdrückten Verbrennen von Linnen entſteht, entzündet ſich ſchon durch einen Funken, während compacte Holzkohlen und Coaks dazu viel kräftigere Mittel brauchen; auch Kieſel brennt vor dem Erhitzen in der Luft leicht, während es nach dem Erhitzen in atmoſphäriſcher Luft, ja ſelbſt im Sauerſtoffgaſe unentzündlich iſt. Die Temperaturerhöhung, welche manchen Körper in der atmoſphäriſchen Luft entzündet, vermag dieſes nicht mehr, wenn die Luft bis auf einen gewiſſen Grad verdünnt iſt, weil es da an der hinreichenden Anzahl Berührungspuncte zwiſchen dem Brennſtoffe und dem Sauerſtoffe fehlt. Nach Davy läßt ſich ein Gemenge aus 2 Rthlen Waſſerſtoffgas und 1 Rthl. Sauerſtoffgas bei achtzehnfacher Verdünnung, ein aus zwei Rthl. Hydrogengas und 5 Rthl. atmoſphäriſcher Luft beſtehendes bei einer ſechsfachen Verdünnung nicht mehr durch den elektriſchen Funken anzünden. In der atmoſphäriſchen Luft läßt ſich eine Stahlfeder durch einen glühenden Schwamm nicht zum Verbrennen bringen, wohl aber im Sauerſtoffgaſe (Davy in Gilb. Ann. 56. 150); Phosphor in Baumwolle gewickelt oder mit einem gepulverten Körper, z. B. Schwefel, Holzkohle, Platinſchwamm, Antimon, Arſenik, Zinnober, Kalk, Salpeter, Flußſpath, Borſäure ꝛc. beſtreut, entzündet ſich hingegen leichter in verdünnter Luft, als in der von natürlicher Dichte. Lampenſchwarz erzeugt die Entzündung des Phosphors ſchon in freier Luft (Blache in Pogg. Ann. 23. 151). Ein Gemenge von Phosphorwaſſerſtoffgas und atmoſphäriſcher Luft entzündet ſich bei der gewöhnlichen Luftwärme, wenn es unter einen geringeren Druck gebracht wird, als der Luftdruck iſt. Die zur Einleitung des Verbrennungsprozeſſes nöthige Erwärmung kann durch ein beliebiges Wärmeerregungsmittel hervorgerufen werden, und es iſt für das Verbrennen ſelbſt einerlei, aus welcher Wärmequelle man ſchöpft. Man zündet oft Schwamm durch concentrirtes Sonnenlicht, unſere Kerzen und das Brennholz durch Mittheilung von einem ſchon brennenden Körper an, bei den ſogenannten chemiſchen Feuerzeugen (wo Schwefelkerzchen mit chlorſaurem Kali überzogen ſind und in Schwefelſäure getaucht werden) iſt es ein chemiſcher Prozeß, der zur Entzündung die Wärme liefert, bei andern Zündmaſchinen wirkt ein elektriſcher Funke, beim Feuerſchlagen der Stoß; die Wilden reiben zwei Hölzer auf einander bis ſie brennen. Manche poröſe Körper verdichten einige Gaſe ſo ſtark, daß die dadurch erregte Wärme zu ihrer Entzündung hinreicht. Dieſes iſt z. B. mit dem fein zertheilten Platin, mit Gold- oder Silberplättchen, nach Hare auch mit Asbeſt oder Holzkohle (welche man unter einem luftleeren Recipienten in eine Löſung von Chlorplatin getaucht, dann 24 Stunden getrocknet und zuletzt geglüht hat) der Fall, die Knallgas, wenn es ganz frei von Kohlenoxyd und öhlbildendem Gas iſt, bis zur Entzündung in ihren Poren verdichten können (Pogg. Ann. 17. 101; 31. 512; 39. 385). Etwas Aehnliches ſcheint bei gepulverten Kohlen die Selbſtentzündung zu bewirken (Zeitſchr. 9. 228. Vergleiche *Phil. Mag. Aug.* 1833, *p.* 89, oder Heßler's Jahrb. 1. Jahrgang, S. 57). Wird Eiſenoxyd durch Waſſerſtoffgas zu Eiſen reducirt, ſo erſcheint das Eiſen als gepulverte Maſſe, die ſich in Berührung mit atmoſphäriſcher Luft ſchnell entzündet.

460. Iſt der Verbrennungsprozeß einmal eingeleitet, ſo liefert er ſelbſt die zu ſeiner Fortſetzung nöthige Wärme, indem die dabei erregte Temperaturerhöhung in der Regel größer iſt, als ſie zur Unterhaltung des Brennens Noth thut. Außer einer beſtimmten Temperatur ſind aber noch andere Bedingungen zum Unterhalten des Verbrennens nothwendig, und zwar 1) Zufluß von Sauerſtoff in hinreichender Menge und mit der nöthigen Geſchwindigkeit. 2) Berührung zwiſchen dieſem und dem Brennſtoffe. Jeder Brennſtoff fordert nämlich eine beſtimmte Menge Sauerſtoff, um ſich mit ihm zu verbinden. Fließt nicht ſo viel zu, als nöthig iſt, ſo erleidet der Verbrennungsprozeß Abbruch, und es wird bald nicht mehr Wärme genug entwickelt, als zur Fortdauer deſſelben nöthig iſt. Dieſer Zufluß von Sauerſtoff wird durch die beim Verbrennen erregte Temperaturerhöhung ſelbſt bewerkſtelliget. Die warme Luft ſteigt nämlich über dem brennenden Körper in die Höhe, und kältere fließt von der Seite zu, um den von erſterer verlaſſenen Platz einzunehmen. Befindet ſich aber der Brennſtoff in freiem Raume, ſo kommt nur ein Theil der zuſtrömenden, Sauerſtoff führenden Luft mit ihm in Berührung; dieſer Theil genügt zwar für Körper, welche nur wenig Sauerſtoff brauchen, wie Weingeiſt, Holz ꝛc., und ſolche brennen darum auch ſogar im Freien oder auf einem offenen Herde; ſolche aber, die viel Sauerſtoff bedürfen, wie Steinkohle, Anthracit, Coaks ꝛc. muß man auf Roſte legen und in Eſſen einſchließen, damit die Luft gezwungen werde, unter dieſen Körpern einzutreten und den Brennſtoff zu berühren, auch bringt man verticale Luftkanäle, Schornſteine an, wodurch die Geſchwindigkeit der aufſteigenden, bereits des Sauerſtoffes beraubten, und hiedurch mittelbar auch der Zufluß der Sauerſtoff führenden Luft vermehrt wird. In beſonderen Fällen werden ſogar künſtliche Zuführungen verdichteter Luft durch Gebläſe nöthig. Iſt die zuſtrömende Luft ſchon für ſich heiß, ſo braucht ſie nicht erſt auf Koſten des brennenden Körpers erhitzt zu werden, und das Verbrennen geht um ſo raſcher und vollkommener vor ſich (Anwendung der heißen Luft bei Hochöfen, Friſchfeuer ꝛc.). Daß der Sauerſtoff den brennenden Körper an möglichſt vielen Stellen berühren müſſe, geht aus vielen Erſcheinungen hervor. Im comprimirten Sauerſtoffgaſe verbrennen Körper viel lebhafter, als in ſolchem von gewöhnlicher Dichte; verdünnt man den Sauerſtoff, oder mengt ihn mit andern Gaſen, ſo dient er bei weitem nicht mehr ſo gut zum Verbrennen. Eiſendraht brennt recht gut in Sauerſtoffgas, aber nicht in atmoſphäriſcher Luft, worin nur $^1/_5$ Sauerſtoffgas vorkommt, außer man bringt ſie auf ihre fünffache Dichte, wo ſie dann wie reines Sauerſtoffgas wirkt. Ueberzieht man einen ſonſt guten Brennſtoff mit einem nicht brennbaren Materiale, ſo hindert man dadurch die Berührung des erſteren mit Sauerſtoffgas, und macht, daß er nicht mehr brennt. Dieſes iſt z. B. der Fall beim Aldiniſchen Feuerſicherheitskleide (Schafwolle mit Kochſalzſoole getränkt), auch die Feuer ſichernden Anſtriche gehören hieher. Wird das Verbrennungsproduct nicht verflüchtiget, ſo hindert es ebenfalls den Zutritt des Sauerſtoffes zum Brennſtoffe und thut dem Ver-

brennen Einhalt. So brennt ein Stück Eiſen, das ſich in Sauerſtoffgas oder in einer Schmiedeſſe entzündet hat, in der atmoſphäriſchen Luft nicht fort, weil das Eiſenoxyd nicht verflüchtiget wird.

Die Nothwendigkeit einer hinlänglichen Anzahl von Berührungspuncten zwiſchen Brenn- und Zündſtoff erklären es, warum jeder Körper verliſcht, wenn er in atmoſphäriſche, bis zu einem gewiſſen Grade verdünnte Luft kommt. So verliſcht Waſſerſtoffgas in 8fach verdünnter Luft, aber Schwefel brennt noch bei 15facher, Phosphor bei 63facher Verdünnung der Luft, Waſſerſtoffphosphorid blitzt noch in möglichſt verdünnter Luft. Wenn man in einer abgeſchloſſenen Portion atm. Luft zu gleicher Zeit eine Wachskerze, Waſſerſtoffgas, Schwefel und Phosphor anzündet; ſo verliſcht zuerſt die Kerze, dann das Hydrogengas, hierauf der Schwefel und endlich der Phosphor.

461. In dem ſo eben Geſagten ſind auch die Mittel enthalten, wodurch man den Verbrennungsprozeß unterdrücken kann. Dieſe laufen im Allgemeinen darauf hinaus, ſo viel Wärme abzuleiten, daß der Reſt nicht mehr die nöthige Verbrennungstemperatur gewährt, den Zufluß des Sauerſtoffes abzuhalten, oder deſſen Geſchwindigkeit unter eine gewiſſe Grenze herabzuſetzen, endlich den Brennſtoff vor Berührung mit demſelben zu ſchützen. Alle feuerlöſchenden Mittel beruhen auf einer oder der andern dieſer Bedingungen. Das Ausblaſen einer brennenden Kerze, Auslöſchen brennender Kohlen durch Auseinanderbreiten der einzelnen Stücke, das Schließen eines Kamines, in welchem es brennt, Zuſpritzen von Waſſer, bedecken mit Sand, Miſt, Häckerling erklären ſich leicht aus dem Vorhergehenden. Der abkühlenden Wirkung der Metalle wird es auch zugeſchrieben, daß Flammen nicht durch ein Drahtſieb von beſtimmter Feinheit des Geflechtes brennen. So z. B. brennt eine Weingeiſtflamme nicht mehr durch ein ſolches Sieb, wenn 100 Oeffnungen auf den □. Zoll deſſelben kommen, wohl aber Waſſerſtoffgas. Darauf beruht Davy's Sicherheitslampe (eine kleine Laterne aus dünnem, ſiebartig geflochtenen Metalldrahte), mit der man ſich in Oerter wagen darf, wo Knallluft enthalten iſt, ohne befürchten zu dürfen, daß ſich die Entzündung außerhalb des Drahtgeflechtes fortpflanze. (Vergl. Libri in Zeitſchr. 3. 204.)

Eine Laterne, mit Drahtgeflecht umgeben, kann man mit brennender Kerze mitten in Stroh oder Heu ſtellen, ohne eine Fortpflanzung des Feuers befürchten zu dürfen. Der zu geringen Lichtſtärke, welche eine ſolche Lampe für ſich gibt, kann man durch einen beweglichen Hohlſpiegel abhelfen, den man dahin wendet, wo man die Beleuchtung am beſten braucht. Kommt man mit einer ſolchen Lampe in einen Raum, der brennbare Luft enthält, ſo erſcheint die gewöhnliche Flamme mit blauer Spitze von deſto größerer Länge, je mehr ſolches Gas vorhanden iſt; die Gegenwart des Kohlenſäuregaſes gibt ſich durch häufigeren Rauch und trübes Brennen kund. Auf einem ähnlichen Grunde beruht auch Aldini's Sicherheitspanzer (ein aus Metalldraht geflochtenes Ueberkleid), das man über ein ſalzgetränktes Wollenkleid anzieht, um gegen Flammenfeuer geſchützt zu werden. Brennendes Holz, Papier, ja ſelbſt Terpentinöhl wird durch einen Ueberwurf von Häckerling ſchnell gelöſcht, ſelbſt ein in Häckerling geſtellter glühender Körper vermag denſelben nicht anzuzünden (Zeitſchr. n. F. 2. 279). Es iſt merk-

würdig, daß das Sonnenlicht den Verbrennungsprozeß ſchwächt, wie ſich dieſes aus Mac-Keever's Verſuchen ergab, der Wachs- und Unſchlittkerzen im Finſtern, im Schatten und in einem vom directen Sonnenlichte beſchienenen Orte brennen ließ, und bemerkte, daß davon im erſten Orte am meiſten, im zweiten etwas weniger, im dritten endlich am wenigſten verzehrt wurde. Da ein langſames Verbrennen bei einer niederen Temperatur eher vor ſich gehen kann, als ein raſches, ſo kann es geſchehen, daß ein Körper, dem man die zur Unterhaltung eines lebhaften Brennens nöthige Temperatur genommen hat, doch noch fortfährt, langſam zu verbrennen. Dieſes iſt mit dem Weingeiſte im ſogenannten Glühlämpchen der Fall. Wird nämlich über dem Dochte eines Alkohollämpchens ein ſpiralförmig gewundener Platindraht oder eine mit Platin überzogene Glaskugel angebracht, das Lämpchen angezündet, und wenn das Platin glüht, wieder ausgelöſcht, ſo dauert doch das langſame Verbrennen des Weingeiſtes fort; man bemerkt keine Flamme mehr, ſieht aber im Dunkeln das Platin deutlich glühen, bis aller Weingeiſt verzehrt iſt.

462. Man kann das Verbrennungsproduct, die beim Verbrennen entwickelte Wärme und das Licht zum Gegenſtande einer beſonderen Berückſichtigung machen, und in der That leitet man den Verbrennungsprozeß immer wegen einem oder dem andern dieſer Puncte ein. Wir wollen darum auch jeden einzelnen näher betrachten. Das Verbrennungsproduct iſt zwar immer ein Oxyd, aber verſchieden nach Maßgabe des Brennſtoffes, ob derſelbe chemiſch einfach oder zuſammengeſetzt iſt, und bei welcher Temperatur das Verbrennen vor ſich geht. Der einfachſte Hergang findet beim Verbrennen des Waſſerſtoffes Statt. Dieſer bildet beim Verbrennen eine Flamme, d. h. er erſcheint als leuchtendes Gas, und bildet durch Verbindung mit Sauerſtoff Waſſer. Verwickelter iſt ſchon der Verlauf beim Verbrennen des Kohlenſtoffes. Dieſer brennt als ein nicht flüchtiger Stoff nur mit Gluth, außer bei ſehr hoher Temperatur, wo äußerſt feine Kohlentheile eine Art Atmoſphäre um den compacten Kohlenkörper bilden und als Flamme erſcheinen. Das Verbrennungsproduct kann Kohlenſäure und Kohlenoxydgas ſeyn, je nachdem die Temperatur mehr oder weniger hoch iſt; ja die ſchon gebildete Kohlenſäure kann beim Durchgehen durch glühende Kohlen durch Aufnahme von mehr Kohlenſtoff in Kohlenoxydgas zurückgeführt werden; namentlich ſcheint dieſes beim Hochofenprozeſſe der Fall zu ſeyn. Beim Verbrennen zuſammengeſetzter Stoffe vereinigt ſich zuerſt jenes Element mit dem Sauerſtoffe, welches zu demſelben die größte Verwandtſchaft hat, und erſt, wenn dieſes geſchehen iſt, kommt die Reihe an die andern Elemente. Bei Kohlenwaſſerſtoffverbindungen iſt es der Waſſerſtoff, der zuerſt verbrennt, und wenn nicht genug Sauerſtoff vorhanden iſt, um auch den Kohlenſtoff zu oxydiren, wird dieſer als Kohle abgeſchieden. Beim Verbrennen von Kohlenſtickſtoffverbindungen geht der Kohlenſtoff mit dem Sauerſtoffe eine Verbindung ein, der Stickſtoff aber wird abgeſchieden, und nur ſelten bilden ſich Stickſtoffoxyde. Unſere gewöhnlichen Brennſtoffe, wie Weingeiſt, Oehle, Holz, Steinkohlen, Coaks ꝛc. erleiden zuerſt eine Zerlegung; die äußere, aus den

brennenden Zerſetzungsproducten beſtehende Hülle bildet gleichſam ein Gefäß, in welchem der Reſt des Brennſtoffes eine trockene Deſtillation (I. 105) erleidet. Die Producte dieſer Deſtillation richten ſich nach der Beſchaffenheit des Brennſtoffes und der vorhandenen Temperatur. Das letzte Product des Verbrennens ſolcher Stoffe iſt immer Waſſer und Kohlenſäure. Doch wird dieſes nur erzielt, wenn das Verbrennen vollkommen vor ſich geht; wo es an der hinreichenden Temperatur gebricht, oder nicht Sauerſtoff genug vorhanden iſt, um allen Kohlenſtoff zu oxydiren, da wird ein Theil des letztern abgeſchieden, und bildet, im fein zertheilten Zuſtande der weggeführten Luft und dem Waſſerdampfe beigemengt, den Rauch. Setzt ſich dieſer an kältere Körper an, ſo bildet er den Ruß. Oft wird wohl der Kohlenſtoff oxydirt, aber nicht in Kohlenſäure, ſondern nur in Kohlenoxydgas verwandelt. Daran iſt oft eine zu geringe Temperatur Schuld. Meiſtens werden mit dem Rauche auch einzelne Deſtillationsproducte unzerſetzt fortgeriſſen, wie Eſſigſäure, Kreoſot ꝛc., und dieſe geben dann dem Rauche einen eigenthümlichen Geruch und verleihen ihm eine eigenthümliche Wirkſamkeit (Räuchern des Fleiſches). Erdige Beſtandtheile der Brennſtoffe und deren Salze bleiben als Aſche zurück. Letztere enthält demnach die mineraliſchen Stoffe des Brennmateriales im concentrirten Zuſtande, wo man ſie daher leicht durch chemiſche Mittel entdecken kann (Laugenbereitung, Pottaſchenſieden ꝛc.)

463. Jeder Brennſtoff erzeugt bei ſeiner Verbindung mit Sauerſtoff eine gewiſſe Menge Wärme, welche unverändert dieſelbe bleibt, die Verbindung mag raſch oder langſam vor ſich gehen, und der Sauerſtoff mag dem Brennſtoffe im reinen Zuſtande oder in der atmoſphäriſchen Luft, reichlich oder ſparſam zugeführt werden. Die dadurch erzeugte Temperaturerhöhung iſt aber von der Zeit abhängig, innerhalb welcher dieſe Wärmemenge entwickelt wird, und natürlich deſto höher, je raſcher die Entwicklung vor ſich geht. So lange man nicht die bei der chemiſchen Verbindung aller einfachen Stoffe frei werdende Wärmemenge ausgemittelt hat, iſt es unmöglich, die bei der Oxydation chemiſch zuſammengeſetzter Körper ſich entwickelnde vorauszuſagen; nur weiß man, daß ein zuſammengeſetzter Stoff immer weniger Wärme gibt, als jeder ſeiner Beſtandtheile für ſich, weil jener Theil der Wärme abgeht, der ſich bei der Bildung der Zuſammenſetzung entwickelt hat und bereits zerſtreut iſt. Für ſolche Körper iſt in der Regel die Wärmemenge deſto größer, je mehr Sauerſtoff aufgenommen wird. Zur Ausmittlung dieſer Wärmemenge bedient man ſich entweder des Eisapparates (384), oder des von Rumford angegebenen Calorimeters, der aus einem kupfernen Gefäße A (Fig. 376) beſteht, in welchem ſich eine ſchlangenförmig gewundene, kupferne Röhre B befindet, die durch deſſen Boden geht und außerhalb deſſelben einen Trichter bildet. Beim Gebrauche dieſes Inſtrumentes wird die zu verbrennende Subſtanz unter der Mündung der Schlangenröhre angezündet, nachdem man vorläufig das Gefäß des Calorimeters mit Waſſer gefüllt hat. Man wiegt den Körper vor und nach dem Verbrennen, und ſieht zu, welche Temperaturerhöhung das Waſſer im Gefäße erfahren hat.

Die gewöhnlichen Materialien, die man zum Behufe der Wärmeentwicklung verbrennt, ſind Holz, Holzkohlen, Steinkohlen und Torf. Friſches Holz enthält immer viel Waſſer, das der Wärmeentwicklung ſchadet; nach M. Bull beläuft ſich der Waſſergehalt im Mittel auf 42 vom Hundert, ſelbſt Holz, das ſchon 8 — 12 Monate in der Luft getrocknet wurde, enthält noch 25 pCt. Nach Bull geben ſelbſt gleich ſtark ausgetrocknete Hölzer nicht gleich viel Wärme. Nach deſſelben Verſuchen ſind die entwickelten Wärmemengen bei gleichem Volum des Holzes folgende: verkleinerte Rinde 100, Eiche 86, Eſche 77, Buche 65, Ulme 58, Birke 48, Kaſtanie 52, Weißbuche 65, Fichte 54, Pappel ital. 40. Alle Gattungen Holzkohlen entwickeln beim Verbrennen gleich viel Wärme, die compacteren verbrennen langſamer als die mehr poröſen. Gewöhnliche Kohlen enthalten faſt immer 7 pCt. an unverbrennlichen Stoffen. Kohlen liefern im Durchſchnitte dreimal mehr Wärme, als eine gleiche Gewichtsmenge Holz. Steinkohlen liefern nach Bull im Durchſchnitte $^2/_3$ der Wärme, welche ein gleiches Gewicht Holzkohlen gibt. Guter Torf liefert nach Blavies nur $^1/_8$ von der Wärme, welche Steinkohlen geben. Nach Verſuchen verſchiedener Gelehrten werden durch 1 Pfd. von nachſtehenden Körpern ſo viele Pfund Waſſer von 0 — 100° erwärmt, als die beigeſetzten Zahlen ausweiſen: Kohlenwaſſerſtoffgas 62,12; Kohlenoxydgas 18,57; trockenes Holz 36,66; Holz mit 20 pCt. Waſſer 29,45; detto mit 25 pCt. Waſſer 26,00; Holzkohlen 75; Steinkohlen der beſten Qualität 60,50; Coaks von 10 pCt. Aſche 63,45, von 5 pCt. Aſche 66; Torf gewöhnlicher 15,00; Baumöhl 90,44; gereinigtes Rüböhl 93,07; Schwefeläther (0,728 ſpec. G.) 80,30; Alkohol (0,8176 ſp. G.) 61,95; Talg 71,86; weißes Wachs 94,79; Steinöhl (0,827 ſp. G.) 73,38; Terpentinöhl 45,00.

464. Wiewohl man häufig den Verbrennungsprozeß der dabei entwickelten Wärme wegen anſtellt, ſo kann man es doch nie dahin bringen, das ganze dabei entwickelte Quantum Wärme nutzbar zu machen, ja man begnügt ſich in vielen Fällen ſogar mit einem ſehr kleinen Theile des Ganzen. Was zur Erwärmung des Mauerwerkes verwendet wird, iſt für den weſentlichen Zweck ſo gut wie verloren; die von der Luft in den Schornſtein fortgeführte Wärme unterhält zwar den nöthigen Luftzug und iſt in ſofern von Nutzen, aber ſie hilft nicht die eigentliche Abſicht, Temperaturerhöhung unmittelbar erreichen; ſelten iſt der Brennſtoff ganz trocken, und wenn er dieſes nicht iſt, muß ein Theil der Wärme daran gewendet werden, das Waſſer zu verdampfen; es iſt faſt unmöglich, immer den Luftzufluß der Lebhaftigkeit des Verbrennens ganz anpaſſend zu unterhalten. Wird nun zu wenig Luft zugeführt, ſo wird ein Theil des Brennſtoffes mechaniſch fortgeriſſen, ohne zu verbrennen, und bildet jene ſchwarzen Rauchwolken, welche man über ſo vielen Schornſteinen ſieht; wird aber zu viel Luft zugeleitet, ſo hat man eine zu große Maſſe derſelben zu erwärmen. Jedes neue Zulegen von Brennſtoff hat eine Abkühlung der brennenden Maſſe zur Folge, und hindert darum das vollkommene Verbrennen. Daher kommt es, daß in gewöhnlichen Zimmerbeheizungen nur $^1/_5$, bei offenen Kochherden nur $^1/_{20}$, ja nach Bunſen's Wahrnehmungen (Pogg. Ann. 46. 217) ſelbſt in einem guten Hochofen nur $^1/_4$ der ganzen entwickelten Wärme nutzbar gemacht wird. Am leichteſten hält man die Wärme beim Verbrennen von Knallluft zu-

ſammen, und darum, und weil hier der Verbrennungsprozeß ganz vollkommen vor ſich geht, kann man auf dieſem Wege die höchſte Temperatur hervorbringen (Neumann'ſches Gebläſe).

465. Der Verbrennungsprozeß liefert nebſt Wärme auch Licht. Gibt der Brennſtoff bei der Hitze, der er ausgeſetzt iſt, keine flüchtigen Beſtandtheile, wie z. B. gut ausgebrannte Holzkohle, Coaks ꝛc., ſo glüht er ohne Flamme; erhält er aber ſolche flüchtige Theile, ſo liefert er eine Flamme, wie z. B. Holz. Manche Körper liefern bei der Zerſetzung, die ſie beim Verbrennen erleiden, lauter flüchtige Theile, wie z. B. Weingeiſt, und ſolche geben dann nur eine Flamme ohne Gluth.

466. Das Leuchtvermögen eines brennenden Körpers hängt beſonders von ſeiner Dichte und von ſeiner Natur ab. In der Regel leuchten die viel dichteren, feſten und tropfbaren Körper mehr als die mit einer Flamme brennenden minder dichten Gaſe, und die Leuchtkraft der letzteren wird durch einen feſten Körper, der bei der größeren Hitze der brennenden Gaſe ſehr ſtark glüht, ungemein erhöht. Eine Waſſerſtoffgasflamme leuchtet nur ſehr wenig; leitet man aber das Gas vorläufig durch Terpentinöhl, ſo nimmt es den Dampf deſſelben auf, und beſitzt dann eine bedeutende Leuchtkraft. Die Flamme von verdichtetem Knallgaſe leuchtet viel ſtärker, als die von demſelben Gaſe in natürlicher Dichte. Oehlbildendes Gas gibt eine ſtark leuchtende Flamme, wenn beim Verbrennen zuerſt die Kohle ausgeſchieden wird und dann verbrennt; doch wird die Lichtſtärke aller Körper noch mehr erhöht, wenn man einen Platindraht in die Flamme hält, weil dieſer ſchnell weißglühend wird. Die Flamme des gewäſſerten Weingeiſtes gibt ein ſehr ſchwaches Licht; tränkt man aber den baumwollenen Docht einer Weingeiſtlampe mit ſalzſaurer, ſchwefelſaurer oder kohlenſaurer Soda, ſo erhält man eine ſtark leuchtende Weingeiſtflamme. Ein Tropfen Oehl auf den Docht gegeben, oder 0,15 Terpentinöhl dem Weingeiſte beigemiſcht, ertheilt der Flamme die Intenſität eines Kerzenlichtes. Phosphor brennt in der Luft mit ſtarkem, aber dem Auge noch wohl erträglichen Lichte, im Sauerſtoffgaſe hingegen mit blendendem Glanze. Alle Bedingungen der erhöhten Lichtentwicklung ſcheinen beim Kalke zuſammenzuwirken, den man in eine mit Sauerſtoffgas angefachte Weingeiſtflamme oder in eine Knallgasflamme bringt; darum leuchtet er auch mit einem ungemein intenſiven Lichte. (Talbot und Blackadder in Zeitſchr. 1. 403. Drummond ebend. 1. 306. Pleiſchl ebend. 1. 390. Döbereiner in Schweigg. J. 62. 87. Pfaff in Pogg. Ann. 40. 517.)

Eine gewöhnliche Kerzenflamme hat unten einen blauen Rand, der in einen ſchwach leuchtenden Saum übergeht; gleich über dem Dochte befindet ſich ein kegelförmiger dunkler Raum und zwiſchen dieſem und jenem Saume der leuchtendſte Theil des Ganzen. Anders verhält es ſich bei einer Flamme, die mit einem Löthrohre angeblaſen wird. Dieſe hat gleich im Inneren einen langen, nicht leuchtenden Kegel, welcher ſich wie der äußere Saum der gewöhnlichen Kerzenflamme verhält. — Rumford hat über die Lichtſtärke brennender Körper viele intereſſante Verſuche

angeſtellt. Nach dieſen braucht man, um durch eine beſtimmte Zeit eine gleiche Lichtſtärke zu erlangen, folgende Mengen des Brennmaterials dem Gewichte nach: Von einer gut gepußten Wachskerze 100, von einer gut gepußten Unſchlittkerze 101, von einer ungepußten Unſchlittkerze 229; von Baumöhl in einer Argand'ſchen Lampe 100, von demſelben in einer Lampe mit breitem Dochte 129, von Ripsöhl in einer gewöhnlichen Lampe 125, von Brennöhl in derſelben Lampe 120. Bei Kerzen kommt es auf die rechten Dimenſionen des Dochtes an; iſt dieſer zu kurz, ſo entſteht ein Abfließen der geſchmolzenen Maſſe, und durch zu viel Schmelzen derſelben eine der Lichtentwicklung nachtheilige Wärmeconſumtion; iſt er zu lang, ſo erzeugt er Schatten, kühlt zu ſchnell ab, ſcheidet unverbrannte Kohle aus, und vermindert ſo die Lichtſtärke. Hat eine Kerze mehrere Dochte, ſo müſſen dieſelben eine ſolche Entfernung von einander haben daß die einzelnen Flammen nicht vollkommen geſchieden erſcheinen. Chriſtiſon und Turner haben mit Rumford's Photometer eine Reihe ſehr wichtiger Verſuche über das Gaslicht angeſtellt. Nach dieſen Verſuchen wird die Lichtſtärke eines Gaslichtes durch Verlängerung der Flamme bedeutend geſteigert, und zwar in einem größeren Verhältniſſe als die Gasconſumtion. Bei Gas aus Steinkohlen erhält man bei einer gleichen Gasconſumtion von Flammen, deren Länge 2, 3, 4, 5 Zoll beträgt, die Lichtſtärken 100, 109, 131, 150, 150 und für Gas aus Oehl für dieſelben Flammenlängen die Lichtintenſitäten 100, 282, 560, 582, 604, ſo daß alſo durch bloße Verlängerung der Flamme ohne größeren Gasaufwand die Lichtſtärke auf das 6fache geſteigert werden kann. Auch als man dem Gaſe mehrere in einem kreisförmigen Ringe liegende Ausflußöffnungen von beſtimmter Größe und Anzahl verſchaffte, war die Lichtſtärke größer, als wenn man eine einzige Oeffnung angebracht hatte, welche in derſelben Zeit die nämliche Gasmenge ausſtrömen ließ. Man konnte ſo ohne Vermehrung des Gasbedarfes die Lichtſtärke $1^{1}/_{2}$mal vergrößern.

467. Die Flamme eines brennenden Körpers hat eine oben zugeſpitzte Geſtalt, weil das zum Leuchten erhitzte Gas leichter iſt, als die atm. Luft, und daher in derſelben aufſteigt; nur durch einen künſtlichen Luftſtrom kann man der Spitze des Flammenkegels eine andere Richtung geben (Löthrohrflamme). Ihre Größe richtet ſich nach der Menge des auf einmal entwickelten Gaſes und nach dem Zufluſſe von Sauerſtoffgas. An einem Gasbehälter kann man die Flamme nach Belieben vergrößern, indem man die Ausflußöffnung erweitert. Eine gewöhnliche Gasflamme brennt nur an der Oberfläche, das inwendige Gas kommt erſt zum Leuchten, wenn es die oberſte, äußere Flammengrenze erreicht. Davon überzeugt man ſich, wenn man eine ſolche Flamme durch ein Drahtnetz abſchneidet und von oben in ſie hineinſieht; denn man findet ſie in der Mitte dunkel und gleichſam mit Rauch erfüllt. Man kann ein Stückchen Phosphor mitten hineinhalten, ohne daß es brennt; ſo wie man aber mit einem Löthrohre Luft hineinbläſt, beginnt das Gas im Inneren der Flamme zu leuchten, und der Phosphor fängt Feuer. Eine Flamme, durch welche ein Luftzug geht, wie bei der Argand'ſchen Lampe, bildet einen leuchtenden Ring. Die Flamme iſt nur durchſcheinend, keinesweges vollkommen durchſichtig; daher zwei Flammen bei weitem nicht ſo viel Licht nach einem Orte hinſenden, wenn ſie hinter einander ſtehen, als wenn ſie ſich neben einander befinden.

468. Die Farbe einer Flamme hängt von der Natur des Brenn- und Zündſtoffes, von der größeren oder geringeren Lebhaftigkeit des Verbrennens und von der Beimiſchung fremdartiger Beſtandtheile ab. Nach Brewſter gibt jeder unvollkommen brennende Körper gelbes Licht. Selten hat eine Flamme an allen Stellen einerlei Farbe, unten iſt faſt jede blau.

Phosphor, Zink, Arſenik brennen weiß, Selen azurblau, Sodaſalze gelb, Kaliſalze blaß violett, Kalkſalze ziegelroth, Strontianſalze karmeſinroth, Lithionſalze roth, Barytſalze blaß apfelgrün, Kupferſalze grün oder grünlichblau, Eiſenſalze weiß. Zu allen dieſen Verſuchen paſſen Chlorſalze am beſten. Man tränkt damit einen Docht oder miſcht ſie zu Weingeiſt. Schwefel brennt in atm. Luft mit bläulicher, in Sauerſtoffgas mit violetter, im oxydirten Stickgaſe mit gelblich rother Flamme. Weingeiſt, in welchem Borſäure oder ſalpeterſaures Kupfer aufgelöſt wurde, brennt grün, mit Bariumchlorid gelb, mit Strontiumchlorid roth, mit Kampher weiß; wird ein Stückchen Kalk auf den Docht gelegt, brennt er grün und roth. Verbrennt man Weingeiſt von 0,835 ſpec. Gew. in einer Lampe ohne Docht, und geſtattet der Flamme eine Länge von ½ Z., ſo erſcheint ſie völlig blau; bringt man aber die Länge der Flamme auf 1 — 1½ Z., ſo erſcheint ſie beinahe weiß. Wird dieſer Weingeiſt ſtark gewäſſert und mittelſt eines Dochtes angezündet, ſo gibt er faſt lauter gelbes Licht. Eine gewöhnliche Gasflamme leuchtet mit ſchönem weißen Lichte, wenn ſie eine Länge von 1 — 2 Z. hat; reducirt man durch Verkleinerung der Ausflußöffnung dieſe Länge auf 2 — 3 L., ſo ſendet ſie faſt lauter blaues Licht aus. Brennt Oehl ohne Docht mit großer Flamme, ſo gibt es ein blaues Licht mit vielem Weiß, vermindert man den Oehlzufluß, ſo wird die Flamme blau mit einer gelben Stelle, bei fortgeſetzter Verminderung des Oehlzufluſſes wird ſie endlich ganz blau. Ein ſo eben ausgelöſchtes Talglicht zeigt im Dunkeln am Dochte einige Augenblicke ein ſchwaches Leuchten; eben ſo gibt Wachs oder Talg, auf heißes, aber nicht leuchtendes Eiſen geſtrichen, ein blaßblaues Licht, welches das ſchwache Verbrennen begleitet. Merkwürdig iſt die Aenderung einer Hydrogengasflamme, die ſie erleidet, wenn man Sauerſtoffgas durch dieſelbe leitet. Die Flamme des unter einem beſtimmten Drucke ausſtrömenden Waſſerſtoffgaſes iſt mehr oder weniger lang, coniſch, und ein ſchwacher weißer Lichtmantel umgibt den inneren, faſt lichtloſen Theil derſelben. So wie Sauerſtoffgas zutritt, zieht ſich die Flamme zurück; in der Nähe der Ausflußöffnung entſteht eine dunkelblaue Partie, die von einer ſcharf begrenzten, coniſchen, bläulichweißen Hülle umgeben iſt, welche ſelbſt wieder von einem violettbläulichen Saume begrenzt wird.

469. Woher beim Verbrennen die Wärme und das Licht komme, läßt ſich nach dem gegenwärtigen Zuſtande der Wiſſenſchaft noch nicht ausmitteln. Stahl nahm zur Erklärung dieſer Phänomene einen eigenen Stoff, das Phlogiſton an, von dem er vorausſetzte, daß ihn alle brennbaren Körper enthalten, daß er beim Brennen entweiche, und dadurch Licht und Wärme erzeuge. Lavoiſier meinte, das Verbrennen werde durch einfache Wahlverwandtſchaft vermittelt, indem nämlich der brennende Körper den Sauerſtoff der atm. Luft aufnimmt, und dadurch die Wärme, wodurch jener als Gas exiſtiren konnte, frei macht. Mit der Wärme entwickelt ſich aus dem Sauerſtoffe auch das Licht. Allein es läßt ſich durch Rechnung nachweiſen, daß die frei ge-

wordene Wärme mehr beträgt, als im Oxygengaſe enthalten ſeyn kann, und der etwa beim Verbrennen vorgehenden Capacitätsänderung zuzuſchreiben iſt. Andere laſſen das Verbrennen durch doppelte Wahlverwandtſchaft vor ſich gehen, und nehmen demnach an, der Sauerſtoff verbinde ſich mit dem brennbaren Körper, und der Wärmeſtoff des erſteren mit dem Lichtſtoffe des letzteren. Beſteht das Weſen der Wärme in Bewegung, ſo iſt die Frage, woher die beim Verbrennen entwickelte Wärme rührt, nicht ſchwer zu beantworten.

Siebentes Kapitel.

Theoretiſche Anſicht der Wärmephänomene.

470. Man erklärt ſich faſt allgemein die Erſcheinungen der Wärme durch Annahme eines Wärmeſtoffes. Die Schlußweiſe, durch welche man die Erklärung leiſtet, iſt ungefähr folgende: Angenommen, daß es einen Wärmeſtoff gebe, ſo muß er auch in Körpern von der niedrigſten Temperatur noch vorhanden ſeyn, und in jedem Körper einen gewiſſen Grad von Expanſivkraft beſitzen, der von ſeiner Anhäufung und von der Größe der Anziehung abhängt, die zwiſchen ihm und dem Körper obwaltet. Je größer dieſe Anziehung iſt, deſto mehr wird ſeine Ausdehnſamkeit geſchwächt, deſto kleiner iſt alſo bei derſelben Wärmemenge die Temperatur des Körpers, und deſto größer iſt deſſen Capacität. Nähert ſich einem warmen Körper ein anderer, in welchem der Wärmeſtoff eine geringere Spannung hat, ſo wird er von jenem in dieſen überſtrömen, bis er in beiden eine gleiche Ausdehnſamkeit beſitzt; deßhalb wird einer abgekühlt, der andere erwärmt. Die Geſchwindigkeit, mit welcher der Uebergang des Wärmeſtoffes von einem Körper in den andern geſchieht, muß nothwendig von dem Unterſchiede der Spannung des Wärmeſtoffes in beiden abhängen. Der mit einem Körper durch Anziehung verbundene Wärmeſtoff bewirkt durch Reaction eine Vergrößerung des Volums, welche, bei übrigens gleichen Umſtänden, mit der Menge der Wärme zunehmen muß, aber ihr nur da proportionirt iſt, wo ſie ein reines Reſultat der Wirkung des Wärmeſtoffes iſt. In feſten Körpern wird der Wärmeſtoff durch ſeine Expanſivkraft der noch überwiegenden Cohärenz entgegen wirken; durch Anhäufung des Wärmeſtoffes wird aber dieſe Kraft immer mehr geſchwächt, bis ſie ſo weit abgenommen hat, daß die Theile in eine Entfernung von einander kommen, bei welcher die Unterſchiede der Anziehung einzelner Stellen verſchwinden. Sobald dieſes erreicht iſt, fängt der Körper an zu ſchmelzen. Iſt er ganz tropfbar geworden, ſo braucht es doch noch eine neue Einwirkung des Wärmeſtoffes, um den expanſibeln Zuſtand zu erzeugen, weil dazu ein gewiſſes Uebergewicht der abſtoßenden Kraft des Wärmeſtoffes über die Anziehungskraft der kleinſten Theile der Körper erfordert wird; es geht, ſelbſt wenn dieſe zwei Kräfte mit einander ins Gleichgewicht getreten ſind, ein Körper nicht

bei dem geringſten Wärmezufluſſe in den expanſiblen Zuſtand über, weil äußere Kräfte die Spannkraft des Wärmeſtoffes einige Zeit überwältigen. Solche Kräfte ſind: der Druck der Atmoſphäre, oder wenn ſich die Flüſſigkeit im luftleeren Raume befindet, der Druck der entſtandenen Dünſte, und im Inneren noch dazu das Gewicht der oberen Schichten. Indeß findet doch dabei der Uebergang in den ausdehnſamen Zuſtand an der Oberfläche ſtets Statt, wenn der abſtoßenden Kraft kein Hinderniß entgegen ſteht.

471. Man ſieht hieraus, daß die Erklärung der meiſten Wärmeerſcheinungen aus dieſer Hypotheſe, im Allgemeinen genommen, nichts Schwieriges an ſich hat. Allein die Leichtigkeit, womit man mittelſt dieſer Annahme die Wärmephänomene ſelbſt dem gemeinen Verſtande begreiflich machen kann, iſt offenbar das Einzige, wodurch ſich dieſe Hypotheſe empfiehlt. Man darf ſich auch darauf nicht viel zu Gute thun; denn man findet bei der Erklärung der Wärmephänomene immer nur jene Geſetze wieder, die man bei der qualitativen Annahme des Wärmeſtoffes ſchon vorausgeſetzt hat. Abgeſehen davon, daß man den Wärmeſtoff noch nicht iſolirt darſtellen konnte, daß er nicht die Eigenſchaften anderer materiellen Dinge, z. B. Schwere, Undurchdringlichkeit rc. zeigt, ſo reicht er nicht einmal zur Erklärung aller Wärmephänomene aus; denn man erklärt daraus ſchwer oder gar nicht: 1) wie ſich die Wärme unter allen Temperaturen ſtrahlend fortpflanzen könne und von Körpern ausſtröme, die eine geringere Temperatur haben, als die Umgebung. Man kann ſich überhaupt von dem Zuſtande einer ausdehnſamen Flüſſigkeit, deren Fortpflanzung ſtrahlend geſchehen ſoll, wie dieſes mit dem Wärmeſtoffe ſeyn müßte, keine klare Vorſtellung machen, und es ſcheint, als läge in dieſer Annahme ſelbſt ein Widerſpruch, indem man Fortpflanzung der Bewegung (in Strahlen) mit dem Fortſchreiten der bewegten Maſſe verwechſelt; 2) wie ſich die Wärme, die bei der Annahme eines Wärmeſtoffes durch eine Anziehung von Seite der Körper in ihnen feſtgehalten wird, durch den leeren Raum fortpflanzen könne, der doch nicht mit einer neuen Kraft die des Körpers aufhebt. Man kann nicht einwenden, daß, was wir leeren Raum nennen, doch mit feinen Stoffen, z. B. mit Aether erfüllt ſey, weil die Vertheidiger des Wärmeſtoffes meiſtens den Aether läugnen. Geben ſie dieſen zu, ſo bedarf es keines andern Stoffes mehr zur Erklärung der Wärmephänomene; 3) wie ein Körper ununterbrochen mit gleicher Stärke glühen und dabei immerfort Wärme in die Umgebung ſenden könne, welches beſonders nach Rumford's Verſuchen beim Reiben und auch bei Metallen geſchieht, welche durch Elektricität glühend gemacht werden. Dieſe Schwierigkeit kann man nicht etwa durch Annahme einer Verminderung der Capacität erklären, denn bei Rumford's berühmtem Verſuche mit den Kanonen hatten die Bohrſpäne eine mit der ganzen Maſſe des Metalles gleiche Capacität; auch nicht dadurch, daß man annimmt, der Wärmeſtoff werde dem glühenden Körper von anderen wieder gleich zugeführt; denn dieſe Annahme ſtreitet gegen ein anerkanntes Naturgeſetz, vermöge welchem nur

der kältere Körper vom wärmeren Wärme gewinnt, und nicht umgekehrt. 4) Wird einmal zur Erklärung der Wärmephänomene ein eigener Stoff angenommen, ſo kann eine Wärmeeregung nur in einem Freimachen dieſes Stoffes oder in der Verminderung der Capacität beſtehen; allein die Wärmeerregung beim Reiben läßt ſich daraus nicht erklären, und man iſt gezwungen anzunehmen, es werde da wirklich Wärme erzeugt, nicht bloß ſchon vorhandene in Freiheit geſetzt (Vergleiche 445). 5) Endlich iſt das Verhältniß zwiſchen Licht und Wärme nicht wohl erklärbar, beſonders wenn man ſich bei erſterem für das Vibrationsſyſtem ausſpricht, das doch von den optiſchen Erſcheinungen am meiſten begünſtiget wird.

472. Wenn man die Wärmeerſcheinungen mit denen des Lichtes und des Schalles vergleicht, ſo findet man eine ſehr große Uebereinſtimmung zwiſchen denſelben. Licht und Wärme exiſtiren häufig in demſelben Körper gleichzeitig, und begleiten ſich gegenſeitig. Wärme und Licht erleiden dieſelben Veränderungen und befolgen dieſelben Geſetze, wie in 407 näher aus einander geſetzt worden iſt. Zwiſchen Schall und Wärme gibt es eben ſo viele Analogien. Beide werden durch Reiben erregt und Körpern mitgetheilt; beide pflanzen ſich ſtrahlend fort; beide erleiden Reflexionen, und beide werden beim Uebergange von einem Mittel ins andere geſchwächt. Gleichwie Schallſtrahlen einen Körper zum Tönen bringen können, eben ſo vermögen Wärmeſtrahlen Körper zu erwärmen; während ein Körper mitklingt, pflanzt ſich auch der Klang durch ihn fort, und während ein Körper durch einen andern erwärmt wird, gibt er auch Wärme an die Umgebung ab. Da nun unwiderſprechlich bewieſen iſt, daß das Weſen des Schalles in Schwingungen beſtehe, ja eine ſtrahlende Fortpflanzung nur aus Schwingungen begreiflich wird, indem die Erfahrung keine Flüſſigkeit zeigt, deren Theile ſtrahlend (in gerader Linie) fortſchreiten; ſo fordern die Regeln der Analogie anzunehmen, das Weſen der Wärme beſtehe, ſo wie das des Schalles und des Lichtes, in einer vibrirenden Bewegung. Ob aber die Schwingungen des Aethers oder jene der Körpertheile, oder beide zuſammen den Grund der Wärmephänomene enthalten, darüber ſind ſelbſt die Vertheidiger dieſer Anſicht nicht einig. So viel iſt aber aus den früher aufgezählten Erſcheinungen zu ſchließen, daß Licht und Wärme nicht von denſelben Schwingungen herrühren können, und daß, wenn ja beiderlei Schwingungen dem Aether zukommen, er ſich bei jeder Art derſelben in einem beſonderen Zuſtande befinden müſſe. Bei der Bewegung der Wärme in Körpern ſcheinen die kleinſten Körpertheile ſelbſt in Schwingungen zu ſeyn. Uebrigens iſt es einleuchtend, daß dasjenige, was man in der Emiſſionshypotheſe Wärmemenge, Wärmevertheilung, Wärmecapacität, Latent- und Freiwerden von Wärme, Temperatur, Erwärmung und Erkaltung nennt, im Sinne der Vibrationshypotheſe lebendige Kraft der ſchwingenden Theile, Vertheilung dieſer Kraft in einer Maſſe, lebendige Kraft der einzelnen Molekel oder Atome, Vergrößerung und Verkleinerung der Bahnen der

vibrirenden Theile bei der Formänderung der Körper, Geſchwindigkeit der Bewegung der Atome oder Molecule, Zunahme und Abnahme der lebendigen Kraft ſeyn müſſe ꝛc.

Ueber die Lehren dieſes Abſchnittes ſiehe: *Théorie analytique de la chaleur par M. Fourier. Paris* 1822. *Théorie math. de la chaleur par S. D. Poisson. Paris* 1838. *Traité de la chaleur et de ses applications aux arts et aux manufactures.* 2 *Tom. par E. Peclet. Paris* 1828. *A Treatise on heat by D. Landner. London* 1833. *An outline of the sciences of heat and electricity. By T. Thomson. London* 1841. *Nuovi trattati sopra il calorico, l' elettricità ed il magnetismo del Cav. L. Nobili. Modena* 1838.

Naturlehre.

Dritter Theil.

Naturerſcheinungen im Großen.

Einleitung.

1. So wie man durch Vergleichung der Naturerſcheinungen zur Kenntniß der Naturgeſetze geleitet wird, und alſo jene vorzugsweiſe zur Entdeckung dieſer gebraucht werden; eben ſo kann man auch die einmal klar erkannten Naturgeſetze wieder benützen, um daraus Naturerſcheinungen zu erklären. Vorzüglich intereſſant iſt dieſes, wenn man die bereits bewieſenen Geſetze der Sinnenwelt auf die Erſcheinungen anwendet, welche im Großen auf unſerer Erde, in der Atmoſphäre und an den Himmelskörpern wahrgenommen werden. Dieſe Erſcheinungen, auf ihre letzten Gründe zurückgeführt, machen den Gegenſtand der angewandten Naturlehre aus, die hiernach in die phyſiſche Geographie, Meteorologie und Aſtronomie zerfällt, wovon es die erſte mit der Beſchaffenheit und den Veränderungen der Erde, die zweite mit den Erſcheinungen in der Atmoſphäre, und letztere mit den Phänomenen an Himmelskörpern und ihrer Erklärung zu thun hat.

2. Die Fortſchritte, welche man bis jetzt in dieſen ſehr wichtigen Zweigen des menſchlichen Wiſſens gemacht hat, ſind ſehr ungleich. Die Aſtronomie hat ſich auf den Flügeln der mathematiſchen Analyſe zu einer ſolchen Höhe und Vollkommenheit erhoben, daß ein vollſtändiger Unterricht hierin allein einen Lehrcurs von mehreren Jahren ausfüllen könnte, aber Zuhörer erfordert, die mit allen Kunſtgriffen der Mathematik ausgerüſtet ſind; die phyſiſche Geographie und Meteorologie liegen hingegen faſt noch in der Wiege, erfreuen ſich aber gegenwärtig an der Hand einer nüchternen Beobachtung und unter dem Schutze der reinen Phyſik eines ſehr erfreulichen Wachsthums und Gedeihens.

Erſter Abſchnitt.

Phyſiſche Aſtronomie.

Erſtes Kapitel.

Himmelskörper überhaupt.

3. Dem unbefangenen Beobachter erſcheint die Erde im ſogenannten platten Lande als eine horizontale Ebene, und der Himmel als ein Gewölbe, das auf der Erde aufliegt, und an welchem ſich die Sonne, der Mond und das unzählige Heer der Sterne befinden. Alle dieſe Himmelskörper ſcheinen von uns gleich weit entfernt zu ſeyn, weil uns alle Mittel, durch welche wir die Entfernungen irdiſcher Gegenſtände nach bloßem Augenmaße zu beurtheilen pflegen, verlaſſen, und wir daher keinen Grund zu haben glauben, einen näher als den andern anzunehmen. Darum nennt man jene hohle Kugel, in der wir uns zu befinden glauben, die Himmelskugel oder Himmelsſphäre.

4. Wer bloß nach ſinnlichem Scheine urtheilt, könnte verleitet werden, zu meinen, die Hälfte des Firmaments werde von der Sonne, die andere Hälfte von den Sternen eingenommen, weil das freie Auge nach Sonnenaufgang gewöhnlich keinen Stern ſieht. Allein ſchon die ſehr gemeine Erfahrung, daß die Flamme einer brennenden Kerze in einem von der Sonne ſtark beſchienenen Orte gar nicht geſehen wird, kann auf die Vermuthung führen, daß wir bei Tage die Sterne bloß wegen des unzählige Male ſtärkeren Sonnenlichtes nicht ſehen; darin wird man noch mehr durch den Umſtand beſtärkt, daß am Morgen kurz vor Sonnenaufgang noch der ganze Himmel mit Sternen überſäet iſt, wovon nach Sonnenaufgang kaum einer mit freiem Auge bemerkt wird. Zur vollen Gewißheit iſt dieſe Wahrheit dadurch gebracht, daß man mittelſt eines guten Fernrohres ſelbſt bei hellem Tage Sterne ſehen kann.

5. Die Erſcheinungen, welche wir täglich an Sonne und Mond bemerken, nämlich, daß ſie an einer Himmelsgegend, die man Aufgangsgegend, Orient, Oſt nennt, auf- und an der entgegengeſetzten, welche Abend, Untergang, Occident, Weſt heißt, untergehen, bieten ſich uns auch an den Sternen dar, bis auf einige wenige, die nur eine ſcheinbare Ausnahme von dem allgemeinen Geſetze machen, ſo daß die Bewegung von Oſt nach Weſt dem ganzen Himmel gemein iſt. Sie heißt tägliche Bewegung, weil von einem Auf- oder Untergange bis zum nächſt folgenden ein Tag verfließt.

6. Unter den Sternen gibt es einige, die immer an demſelben Puncte des Horizontes auf- und untergehen, und beſtändig dieſelbe Lage gegen einander beibehalten, ſo daß man erſt nach einer Reihe von Jahren eine kleine Aenderung ihrer relativen Lage bemerkt. Dieſe heißen Fixſterne (stellae fixae); ſie machen bei weitem den größten Theil der ſichtbaren Himmelskörper aus. Andere hingegen gehen faſt täglich an einem andern Puncte der Oſtgegend auf, beſchreiben bald größere, bald kleinere Bögen, und ändern ihre Lage gegen einander und gegen die Fixſterne. Dieſe heißen Irrſterne, Planeten (planetae). Von beiden verſchieden ſind die Kometen (cometae), welche meiſtens einen lichten Schweif oder Ring um ſich haben. Die Sonne bietet in Betreff ihrer Bewegung Erſcheinungen dar, welche mit den an Planeten beobachteten völlig übereinſtimmen; die Folge wird aber lehren, daß ſie doch nicht zu den Planeten zu zählen iſt, weil dieſe Uebereinſtimmung nur ſcheinbar iſt.

7. Man kennt jetzt 11 Planeten: Merkur ☿, Venus ♀, die Erde ♁, Mars ♂, Ceres ⚳, Pallas ⚴, Juno ⚵, Veſta ⚶, Jupiter ♃, Saturn ♄ und Uranus ♅, nebſt 18 Nebenplaneten oder Begleitern der Hauptplaneten, wovon die Erde einen, Jupiter vier, Saturn ſieben und Uranus ſechs hat. Der vorletzte Planet iſt überdieß noch mit einem Ringe umgeben, der nach Einigen aus zwei, nach Anderen aus mehreren concentriſchen Theilen beſteht. Uranus ward 1781 von Herſchel, Ceres 1801 von Piazzi, Pallas 1802 von Olbers, Juno 1804 von Harding, Veſta 1807 von Olbers entdeckt, die übrigen waren ſchon den Alten bekannt. — Es iſt aus dem Vorhergehenden klar, daß die Planeten nebſt der dem ganzen Himmel gemeinſchaftlichen täglichen Bewegung auch noch eine eigene haben müſſen. Man nennt ſie ihre jährliche Bewegung. Sie ſind der Erde ohne Vergleich näher als die Fixſterne, und erſcheinen im Geſichtsfelde guter Fernröhre als vollkommene Scheiben; an den meiſten bemerkt man ſogar Flecken, die ihre Lage gegen den Rand der Scheibe verändern, und darum auf eine Axendrehung ſchließen laſſen.

Zweites Kapitel.

Tägliche Bewegung der Himmelsſphäre.

8. Da es bei der Beurtheilung einer Bewegung vor Allem auf den Standpunct ankommt, von dem man ſie beobachtet; ſo muß zuerſt der Ort der Erde in der Himmelsſphäre näher beſtimmt werden. Zu dieſem Behufe lehrt die Erfahrung, daß der Abſtand zweier fixen Puncte an der Himmelsſphäre, z. B. zweier Fixſterne, von einander von derſelben Größe erſcheint, dieſe Puncte mögen gerade auf- oder untergehen, oder ſich in was immer für einer Lage zwiſchen dem Auf- und Untergange befinden, und deutet hiedurch an, daß der Punct, für welchen dieſes Statt findet, als Mittelpunct der Himmelsſphäre an-

geſehen werden könne. Da dieſes von jedem Orte auf der ganzen Erdoberfläche gilt, und zwei Fixſterne überall einen gleichen Abſtand von einander zu haben ſcheinen; ſo muß auch jeder Punct der Erde als Mittelpunct der Himmelsſphäre angeſehen werden können, d. h. die Größe der Erde muß gegen die Größe der Himmelsſphäre verſchwinden.

9. Jeder Punct der Himmelsſphäre beſchreibt, vermög der täglichen Bewegung innerhalb eines Tages, einen ganzen Kreis. Iſt die Lage dieſes Kreiſes beſtimmt und zugleich bekannt, in welchem Puncte desſelben ſich ein Stern befindet, den man als fixen Punct der Himmelsſphäre betrachten kann, wie dieſes mit den Fixſternen der Fall iſt; ſo iſt die tägliche Bewegung dieſes Sternes gegeben. Zu dieſem Behufe muß man, im Einklange mit dem gewöhnlichen Verfahren der Geometrie, jeden Punct des Himmels auf ſo viele Coordinaten beziehen, als zur völligen Beſtimmung der Lage des Punctes erforderlich ſind. Weil hier alle Puncte gleichſam an der Himmelsſphäre erſcheinen, mithin dieſe ſelbſt ſchon eine Coordinate erſetzt, ſo bedarf man nur noch zweier Ebenen, oder weil dieſe die Himmelsſphäre in Kreiſen ſchneiden, zweier Kreiſe. Dieſe Ebenen oder Kreiſe wird man am beſten durch die tägliche Bewegung ſelbſt beſtimmen.

10. Stellt ſich der Beobachter ſo, daß ſeine rechte Seite nach Oſt, ſeine linke nach Weſt gerichtet iſt; ſo ſieht er nach derjenigen Gegend hin, welche Mitternacht, Nord genannt wird, und kehrt den Rücken der Mittagsgegend, Süd, zu. Betrachtet man die Sterne in der nördlichen Himmelsgegend, ſo bemerkt man, daß einige nie untergehen, ſondern innerhalb eines Tages einen ganzen Kreis über dem Horizonte beſchreiben. Dieſer Kreis iſt deſto größer, je näher der Stern bei ſeiner tiefſten Stellung dem Geſichtskreiſe kommt. Man nennt ſolche Sterne Circumpolarſterne. Hieraus kann man wohl ſchließen, daß auch die andern Sterne, welche auf- und untergehen, einen ganzen Kreis beſchreiben, und daß ein Theil desſelben nicht für uns ſichtbar ſey, weil er unter dem Horizonte liegt; alles dieſes wird erſt zur vollen Gewißheit, wenn man beobachtet, daß Sterne, die nur kurze Zeit unſichtbar ſind und unter dem Horizonte verweilen, zu vollkommenen Circumpolarſternen werden, wenn man ſich näher nach Norden begibt, während andere, die nach Süden zu liegen und in unſeren Gegenden nur kurze Zeit über dem Horizonte verweilen, ganz unſichtbar werden. Reiſet man in ſüdlichere Länder, ſo erfährt man das Gegentheil; da verſchwinden nämlich nördlich liegende Sterne ganz, und ſüdlich liegende, uns ganz unſichtbare, werden ſichtbar; ja in Südamerika und in vielen andern ſüdlichen Gegenden gibt es Circumpolarſterne, die bei uns gar nie aufgehen.

11. Weil die Fixſterne immer in derſelben Lage gegen einander bleiben, ſo müſſen ſie bei der täglichen Bewegung Kreiſe beſchreiben, deren Ebenen mit einander parallel ſind, und die deßhalb Parallelkreiſe heißen. Die ganze Bewegung geſchieht um eine gemeinſchaftliche Linie, welche die Weltaxe (Himmelsaxe) heißt, und in unſeren Gegenden gegen den Horizont geneigt erſcheint. Die Puncte

der Himmelsſphäre, welche die Axe trifft, heißen die **Pole**, und zwar der gegen Norden liegende, der **Nordpol**, der andere der **Südpol**. Bei uns liegt nur der Nordpol über dem Horizonte, und zwar, wie natürlich, in der Nähe desjenigen Sternes, der den kleinſten Parallelkreis beſchreibt, und deßhalb auch **Polarſtern** genannt wird. Der größte Parallelkreis heißt **Aequator**, der Punct am Himmel, den die durch den Scheitel eines Beobachters gehende, verticale Linie trifft, heißt **Zenith**, der ihm gerade entgegengeſetzte, **Nadir**. Eine durch das Zenith und die Pole gehende Ebene heißt **Mittagsebene**. Sie theilt den Bogen, den die Sterne über dem Horizonte beſchreiben, in zwei gleiche Theile, und in ihr haben ſie den größten und kleinſten Abſtand vom Horizont, d. i. die größte und kleinſte **Höhe**. Iſt ein Geſtirn im Meridiane, ſo ſagt man, es **culminire**. Der Durchſchnittspunct des Horizontes und der Mittagsebene gegen Süden heißt der **Südpunct**. Sonſt heißt jeder größte Kreis, welcher durch die beiden Pole geht, ein **Abweichungskreis**. Eine Ebene, welche durch den Mittelpunct der Himmelsſphäre geht, und mit dem Aequator einen Winkel von $23^1/_2{}^0$ einſchließt, heißt **Ekliptik**, und ein auf der Ekliptik ſenkrechter und durch einen Pol derſelben gehender Kreis wird **Breitenkreis** genannt. Die Ekliptik ſowohl als die Aequatorialebene ſchneiden die Himmelsſphäre in größten Kreiſen, und dieſe beiden Kreiſe ſchneiden ſich ſelbſt wieder in zwei Puncten. Einer davon heißt **Frühlingsnachtgleichepunct**, der andere **Herbſtnachtgleichepunct**. Der durch den Frühlingsnachtgleichepunct gehende Abweichungskreis wird als der **erſte Abweichungskreis** angeſehen. Eine auf dem Horizonte ſenkrechte Ebene heißt **Verticalebene**. Sie ſowohl als der Horizont ſchneiden die Himmelsſphäre in größten Kreiſen. Der Horizontalkreis führt den Namen **Azimuthalkreis**.

Stellt (Fig. 377) C den Ort eines Beobachters vor, CZ die durch C gehende Verticale, Z ſein Zenith, Hh den Horizont, P den Nordpol, p den Südpol, Pp die Weltaxe, Aa eine durch C gehende, auf Pp ſenkrechte Ebene; ſo iſt Aa die Ebene des Aequators, PapA die des Meridians, und die mit Aa parallelen Kreiſe Bb, Dd, Ee, Ff, Gg, Kk, Ll, Parallelkreiſe, wovon Ff und Ee ganz über dem Horizonte liegen, während andere ſolche Kreiſe vom Horizonte geſchnitten werden, ſo daß ein Theil über, der andere unter dem Horizonte liegt. Erſtere Theile heißen **Tagbögen**, letztere **Nachtbögen**. Mm iſt die Ekliptik, V der Frühlingsnachtgleichepunct, PN ein Stück eines Breitenkreiſes, HPh iſt zugleich ein Verticalkreis. Mehrere dieſer Kreiſe, wohl auch alle, kann man an einer Ringkugel oder an einer künſtlichen Himmelskugel vorſtellen.

12. Zur Beſtimmung eines Punctes am Himmel dienen mehrere der genannten Ebenen und Kreiſe, und zwar: 1) Ein Abweichungskreis und der Aequator. 2) Ein Verticalkreis und der Horizont (Azimuthalkreis). 3) Ein Breitenkreis und die Ekliptik. Bevor man zur Beſtimmung einzelner Puncte ſchreitet, müſſen aber dieſe Ebenen und Kreiſe ſelbſt beſtimmt ſeyn.

13. Den genaueſten Beobachtungen gemäß iſt die tägliche Bewegung eine *gleichförmige*; daher müſſen die zwei Theile eines Parallelkreiſes, welche zu beiden Seiten des ihn ſchneidenden Meridians liegen, in gleichen Zeiten zurückgelegt werden. Stellt man daher ein Fernrohr, welches ſich um eine horizontale Are drehen kann, ſo, daß ein in der Are des Rohres vertical geſpannter, ſehr feiner Faden in einer Ebene liegt, welche die Bahn eines Circumpolarſternes in zwei Theile theilt, die in gleichen Zeiten zurückgelegt werden; ſo bewegt ſich dieſes Fernrohr im Meridiane und dieſer iſt daher ſeiner Lage nach bekannt, wenn man es dahin gebracht hat, ein Fernrohr ſo zu ſtellen. Ein Fernrohr, wie das genannte, heißt ein Mittagsrohr oder *Paſſageinſtrument*, und ſpielt in der practiſchen Aſtronomie eine große Rolle. Im Geſichtsfelde dieſes Fernrohres ſind mehrere ſehr feine Fäden von Spinnen oder von Platin ausgeſpannt, wovon einer horizontal ſteht, während die übrigen eine verticale Lage haben. Einer von dieſen befindet ſich genau in der Ebene des Meridians, die anderen ſind in gleichen Abſtänden von dieſem zu beiden Seiten angebracht. Mittelſt eines eingetheilten Kreisbogens kann man auch den Winkel beſtimmen, den die Are des Rohrs mit dem Horizonte macht. In der Mittagsebene liegt natürlich die Weltare, und iſt daher in ihr durch den Winkel gegeben, den ſie mit dem Horizonte macht, und den man *Polhöhe* nennt. Er iſt gleich der halben Summe aus der größten und kleinſten Höhe eines Circumpolarſternes. In Fig. 377 iſt PCh die Polhöhe und wird durch den Meridianbogen Ph gemeſſen, ferner Fh die größte, fh die kleinſte Höhe eines dem Pole P nahen Sternes. Aber $Pf = \frac{Ff}{2}$, und daher $Ph = Pf + fh = \frac{Ff}{2} + fh = \frac{Ff + 2fh}{2} = \frac{Fh + fh}{2}$. Iſt einmal die Polhöhe bekannt, ſo braucht man zur Beſtimmung der Lage des Aequators nur den Winkel zu kennen, den dieſer mit dem Horizonte macht. Er heißt die *Aequatorshöhe*, und iſt das Complement der Polhöhe. In Fig. 377 ſtellt ACH dieſen Winkel vor, für welchen man hat: $ACH = hCa = PCa - PCh = 90° - PCh$. Es iſt demnach der Aequator und daher auch jeder darauf ſenkrechte Kreis durch das Vorausgegangene beſtimmt. Die Beſtimmung einer horizontalen und einer verticalen Ebene iſt für ſich klar, und von der Beſtimmung der Ekliptik wird in der Folge die Rede ſeyn.

14. Ein Punct am Himmel iſt beſtimmt, wenn man ſeinen Abſtand von zwei der vorhergehenden zuſammengehörigen Ebenen (Kreiſen) kennt. Es iſt aber dieſer Abſtand nicht als gerade Linie, ſondern als Kreisbogen zu verſtehen. Weil nun von den zwei Kreiſen, durch die man nach dem Vorhergehenden einen Punct beſtimmen kann, einer auf dem anderen ſenkrecht ſteht; ſo wird ſtets der Abſtand eines Punktes von einem dieſer Kreiſe durch einen Bogen des anderen gemeſſen werden. Der Abſtand eines Punctes vom Aequator heißt ſeine *Abweichung*, der Abſtand vom erſten Abweichungskreiſe ſeine *gerade*

Aufſteigung. Die Abweichung iſt nördlich oder ſüdlich, je nachdem ſich der fragliche Punct in der nördlichen oder ſüdlichen Halbkugel befindet. Der Abſtand eines Punctes vom Horizonte heißt deſſen Höhe, der Abſtand vom Höhenkreiſe, welcher durch den Südpunct geht, ſein Azimuth. Der Abſtand von der Ekliptik heißt die Breite, der Abſtand vom Breitenkreiſe, der durch den Frühlingsnachtgleichepunct geht, ſeine Länge. Man kann jede dieſer Größen durch Beobachtung finden, aber auch aus zwei zuſammengehörigen, z. B. aus der Höhe und dem Azimuth zwei andere, z. B. Länge und Breite berechnen. Am gewöhnlichſten werden Höhe und Azimuth, und Abweichung und gerade Aufſteigung durch Beobachtung ausgemittelt.

15. Die Abweichung findet man, wenn man die Mittagshöhe des fraglichen Punctes beobachtet, und davon die Aequatorshöhe abzieht. Iſt z. B. B (Fig. 377) dieſer Punct, ſo iſt HB ſeine Mittagshöhe, HA die Aequatorshöhe und $BH - AH = BH$ ſeine Abweichung. Um die gerade Aufſteigung x zu beſtimmen, wird die Zeit t beobachtet, welche zwiſchen den Culminationen des Punctes, um den es ſich handelt, und des Frühlingsnachtgleichepunctes vergeht, und dann ſo geſchloſſen: Da in 24 Stunden 360° des Aequators durch den Meridian des Beobachtungsortes gehen; ſo müſſen in der Zeit t durch denſelben x° gehen, und man hat $x = 15\,t$.

16. Höhe und Azimuth erfährt man am bequemſten mittelſt eines Theodolithes. Dieſer beſteht aus zwei concentriſchen, horizontalen Kreiſen, wovon der innere auf zwei verticalen, gleich hohen Stützen ein kleines Mittagsrohr und einen verticalen Kreis trägt. Stellt man dieſes Inſtrument ſo, daß der Nullpunct des horizontalen Kreiſes in den Meridian und zwar gegen Süden fällt, und der Nullpunct des verticalen mit der horizontalen Axe des Fernrohres in einerlei Höhe liegt; ſo ſchneidet bei jeder anderen Lage des Fernrohrs der Index am horizontalen Kreiſe das Azimuth, der am verticalen die Höhe jenes Punctes ab, den man in der Mitte des Geſichtsfeldes des Fernrohrs ſieht.

Drittes Kapitel.

Geſtalt und Größe der Erde und ihre Axendrehung.

17. Es gibt viele Erſcheinungen, die ſich nicht anders erklären laſſen, als wenn man annimmt, daß die Erde nach allen Seiten convex ſey. Die vorzüglichſten dieſer Erſcheinungen ſind folgende: Wenn man von Weſt nach Oſt reiſet, ſo bemerkt man, daß die Sonne immer deſto früher aufgeht, je weiter man kommt; ja auf einer ſolchen fortgeſetzten Reiſe kommt man wieder an den Ort, von wo man ausging, zurück, ohne irgendwo umgekehrt zu ſeyn. Begibt man ſich von Süden weiter nach Norden, ſo erhebt ſich der Nordpol im Verhältniß zur Größe des zurückgelegten Weges, es werden immer mehrere

Sterne Circumpolarſterne, während am ſüdlichen Himmel immer mehrere unter den Horizont zu ſtehen kommen und gar nicht mehr aufgehen. Vorzüglich gehört hierher die Art, wie ſich entfernte Gegenſtände zur See oder in großen Ebenen zeigen, wenn man ſich ihnen nähert, und wenn man ſich von ihnen entfernt. So z. B. erblickt man an einem fernen Schiffe, dem man ſich nähert, zuerſt nur den oberſten Theil des Maſtbaumes, und wenn ſich ein Schiff entfernt, ſo verliert ſich zuerſt der unterſte Theil aus dem Geſichtskreiſe. — Was es für eine Krümmung ſey, die der Erde zukommt, iſt durch alle dieſe Gründe noch nicht ausgemacht. Wie ſie aber immer beſchaffen ſeyn mag, ſo iſt doch ſo viel gewiß, daß die Erde einer Kugel ſehr nahe kommt, weil ihr Schatten bei Mondesfinſterniſſen immer kreisrund erſcheint. Berge und Erhabenheiten, die ſich auf ihrer Oberfläche befinden, können dieſes nicht umſtoßen, weil ſie gegen die Größe der Erde ganz verſchwinden, ſo, daß die höchſte Gebirgskette der Erde ihr die Kugelform ſo wenig benimmt, als feiner Staub einem Globus von mehreren Schuhen im Durchmeſſer.

18. Die Erſcheinungen der täglichen Bewegung laſſen ſich auf eine zweifache Art erklären. Entweder bewegen ſich wirklich alle Firſterne in 24 St. von Oſt nach Weſt um die Erde, oder es dreht ſich die Erde in derſelben Zeit von Weſt nach Oſt um ihre Axe. Der Sinn des Geſichtes kann hierin eben ſo wenig einen Schiedsrichter abgeben, als er einen den Fluß abwärts Schiffenden belehren kann, ob das Schiff abwärts oder die am Ufer befindlichen Gegenſtände aufwärts gehen Es müſſen daher andere Gründe für die Wirklichkeit einer oder der anderen Bewegung ſprechen.

19. Schon der Umſtand, daß die Umwälzung eines einzigen, verhältnißmäßig ſehr kleinen Körpers die Erſcheinungen eben ſo hervorbringt, wie die Bewegung von Millionen unendlichmal größerer Maſſen, muß die Axendrehung der Erde *wahrſcheinlich* machen; aber noch mehr muß dieſe Wahrſcheinlichkeit ans Licht treten, wenn man zugleich die Entfernung dieſer Körper in Betrachtung zieht. Es iſt gewiß, daß der nächſte Firſtern wenigſtens eine Entfernung von 23000 Millionen Erdhalbmeſſern hat. Geht er in 24 St. um die Erde, ſo muß er einen mehr als ſechsmal größeren Weg beſchreiben, und daher eine Geſchwindigkeit haben, welche die des Lichtes 6000mal übertrifft. Nimmt man eine Axendrehung der Erde an, ſo darf jeder Punct des Aequators nur 5400 geogr. Meilen in 24 Stunden zurücklegen, wozu eine Geſchwindigkeit hinreicht, die nur wenig größer als jene des Schalles iſt. Zu dieſem kommt noch, daß die Planeten auch eine Axendrehung haben, daß dieſe ſogar bei der Sonne nicht fehlt. Warum ſoll gerade die Erde von dieſem Geſetze ausgenommen ſeyn?

20. Die Wahrſcheinlichkeit der Umdrehung der Erde wird durch die Betrachtung mechaniſcher Gründe zur völligen *Gewißheit* erhoben. Die kreisförmige Bewegung der Himmelskörper um die Erde könnte nur durch Centralkräfte hervorgebracht werden, deren Mittelpunct in der Erde liegen müßte. Was ſollte aber das für eine Kraft

in der Erde ſeyn, die ſich ſo weit erſtreckte, und im Stande wäre, die ungeheuren Maſſen mit ſo großer Geſchwindigkeit herumzutreiben? wie ließe es ſich erklären, daß durch dieſe Kraft alle Körper, deren Entfernung von der Erde gewiß ſehr verſchieden iſt, in derſelben Zeit um ſie herumgeführt würden, und ihre wahre Geſchwindigkeit im Verhältniſſe der Entfernung wüchſe, mithin die bewegende Kraft größer ſeyn müßte, während alle anderen Kräfte deſto ſchwächer werden, je weiter ſich ihre Wirkſamkeit erſtreckt? wie wäre es möglich, daß gerade die Körper, welche im Aequator ſtehen, ſo große Kreiſe beſchreiben, und daß dieſe Kreiſe gegen die Pole zu immer kleiner werden.

21. Wird die Bewegung der Erde als wirklich angenommen, ſo muß ſie ſich auch auf die Atmoſphäre erſtrecken. Die oberen Theile derſelben müſſen ſich ſchneller bewegen, als die unteren, und daher bewirken, daß ein frei fallender Körper etwas gegen Oſten von der verticalen Linie abweicht. Auch davon überzeugt man ſich durch die Erfahrung, wie vorzüglich Reich's neueſte Verſuche beweiſen. Aus allem dieſen ſieht man, daß man für die Axendrehung der Erde ſo viele Beweiſe hat, daß nur jene noch daran zweifeln können, die überhaupt nicht zu überzeugen ſind.

22. Dieſen Gründen gemäß beſchreibt jeder Punct der Erde einen Kreis, und nur zwei in einer durch den Mittelpunct der Erde gehenden, geraden Linie liegende Puncte ſind von dieſer Bewegung ausgenommen. Dieſe Puncte ſind die Pole der Erde, und zwar der in der Nordhälfte liegende der Nordpol, der entgegengeſetzte der Südpol. Obige gerade Linie heißt die Erdaxe. Die verlängerte Erdaxe ſtellt die Himmelsaxe vor. Demnach iſt letztere durch erſtere beſtimmt. Die Kreiſe, welche einzelne Puncte der Erde bei ihrer Axendrehung beſchreiben, ſind mit einander parallel, und heißen daher mit Recht Parallelkreiſe der Erde. Der größte Parallelkreis iſt der Aequator der Erde. Die Ebene des Erdäquators fällt in die des Himmelsäquators, und dieſer wird, ſo wie die Weltaxe, durch die Lage der Erdaxe beſtimmt. Man kann nun, dieſes Zuſammenhanges wegen, die bekannte Lage der genannten Linien und Ebenen am Himmel dazu benützen, um die Lage eines Ortes auf der Erde zu beſtimmen. So wie ein Punct am Himmel durch Abweichung und gerade Aufſteigung beſtimmt wird, eben ſo iſt ein Punct auf der Oberfläche der Erde durch ſeine Breite und Länge gegeben.

23. Die Breite eines Ortes wird gemeſſen durch den Bogen ſeines Meridians, der zwiſchen ihm und dem Aequator liegt. Sie heißt nördliche oder ſüdliche Breite, je nachdem der Ort dem Nordpole oder dem Südpole näher liegt, und iſt immer der Polhöhe des Ortes gleich. Es ſey C (Fig. 378) der Mittelpunct der Erde, wovon ApbB einen durch die Pole gehenden Durchſchnitt vorſtellt, A ein Ort auf ihrer Oberfläche, AZ ſeine Verticale, AH ſein ſcheinbarer Horizont, p einer der Erdpole, P der entſprechende Pol am Himmel, Bb der Aequator der Erde, mithin ACB die Breite von A. Wegen der gegen die Himmelsſphäre verſchwindenden Größe der Erde

kann man die Richtung AP′, nach welcher P von A aus geſehen wird, mit CP parallel annehmen, und P′AH als die Polhöhe von A anſehen. Unter dieſer Vorausſetzung iſt BCA = P′AH, weil die Seiten dieſer Winkel auf einander ſenkrecht ſtehen.

Dieſer Satz ſetzt uns in den Stand, die Lage der Parallelkreiſe der Himmelsſphäre in jedem Orte von bekannter Polhöhe vorausſagen und angeben zu können, daß dieſe unter dem Aequator auf dem Horizonte ſenkrecht ſtehen, unter dem Pole mit ihm parallel laufen, und daß dieſe Ebenen nur außer den Polen und außer dem Aequator eine ſchiefe Lage gegen den Horizont haben.

24. Die Länge eines Ortes iſt der Winkel, den der Meridian dieſes Ortes mit irgend einem bekannten, als erſten angenommenen Meridiane macht. Sie wird mithin durch den zwiſchen beiden Meridianen gelegenen Bogen des Aequators gemeſſen. Ptolomäus zog ſeinen erſten Meridian durch die canariſchen Inſeln, als die äußerſte, weſtliche Grenze des damals bekannten Continents, und viele nehmen noch heut zu Tage den durch Ferro gezogenen Mittagskreis für den erſten an, aber meiſtens zieht jede Nation durch ihr vorzüglichſtes Obſervatorium ihren Hauptmeridian. Je nachdem ein Ort öſtlich oder weſtlich vom erſten Meridiane liegt, hat er auch eine öſtliche oder eine weſtliche Länge. Es wäre ſehr zu wünſchen, daß alle Aſtronomen und Geographen denſelben Meridian als erſten annähmen, oder doch einen ſolchen, der durch einen unveränderlichen, immer wieder beſtimmbaren Punct der Erde geht. Fängt man in zwei Orten, deren Längenunterſchied zu finden iſt, die Zeit mit der Culmination desſelben Sternes zu zählen an; ſo muß der Zeitunterſchied t beider Orte, in demſelben Augenblicke, nach der Proportion $24 : t = 360 : x$ die geſuchte Längendifferenz geben. Deßhalb dienen zur Beſtimmung dieſer Differenz vorzüglich Uhren, die ſich ohne Störung ihres Ganges von einem Orte zum anderen tragen laſſen, oder ſolche Phänomene, die in beiden Orten zugleich geſehen werden können, oder bei denen der Zeitunterſchied ihres Erſcheinens der Rechnung unterworfen werden kann, wie z. B. Feuerſignale, der Anfang und das Ende einer Mondesfinſterniß oder einer Verfinſterung der Jupiterstrabanten, Sternbedeckungen durch den Mond, die Lage bekannter Sterne gegen den Mond ꝛc. Liegt einer der beiden Orte im erſten Meridiane: ſo iſt hiedurch zugleich die abſolute Länge des anderen gegeben. Dasſelbe findet Statt, wenn die Länge des einen der beiden Oerter ſchon aus vorläufigen Beobachtungen bekannt iſt. Man braucht daher nur die Länge eines Ortes unmittelbar nach dem erſten Meridiane zu beſtimmen, die Längen der übrigen ergeben ſich, indem man ſtets einen Ort mit einem ſchon früher beſtimmten vergleicht.

25. Wiewohl die Beſtimmung der geogr. Länge und Breite für das feſte Land von der größten Wichtigkeit iſt, weil man dadurch manches ſchon den Alten bekannte Land der Lage und Größe nach näher zu beſtimmen vermochte, und vielen neu entdeckten Ländern ihren Ort auf der Erdoberfläche genau anwies; ſo hat ſie doch für den Seefah-

rer noch größeren Vortheil, indem dieſer dadurch in den Stand geſetzt wird, den Ort ſeines Schiffes in jedem Augenblicke anzugeben, die Sicherheit ſeines Weges und die Zweckmäßigkeit ſeiner Richtung zu beurtheilen. Leider ſind zur See viele Mittel, die man auf dem feſten Lande zur Beſtimmung der Länge anwenden kann, faſt ganz unanwendbar, wiewohl man ſie da am meiſten bedürfte, und man muß oft, wenn Wolken den Anblick der Geſtirne, und hiemit alle Mittel, die der Himmel darbietet, rauben, aus der bloß oberflächlich geſchätzten Geſchwindigkeit und Richtung des Schiffes die Länge des Ortes beurtheilen, beſonders wenn einem keine genaue Uhr zu Gebote ſteht, die allen Schwankungen des Schiffes und den zur See ſtark einwirkenden äußeren Einflüſſen trotzt. (Siehe: kurze Geſchichte der Bemühungen die Meereslänge zu finden, von Haſſenkamp. Rinteln 1774. *Zach, de vera longitudine et latitudine. Erfurt* 1790.)

26. Durch Angabe der Länge und Breite wird man in den Stand geſetzt, auf einer Kugel, welche die Erde im verjüngten Maßſtabe vorſtellt, alle Ortſchaften zu verzeichnen und Erdgloben zu verfertigen, wohl auch nach den Regeln der Projection Land- und Seekarten zu verzeichnen.

Die vorzüglichſten Projectionsarten für Landkarten ſind folgende:

1. Die orthographiſche, welche entſteht, wenn man ſich an einem Puncte der Erde B (Fig. 379) eine berührende Ebene BC denkt, und von den zu verzeichnenden Puncten der Erdoberfläche a, b, c die auf BC Senkrechten aa′, bb′, cc′, zieht. Iſt der Berührungspunct ein Pol, ſo heißt dieſe Projection orthographiſche Polarprojection. Da ſind alle Parallelkreiſe wieder Kreiſe in der Projectionsebene und alle Meridiane gerade Linien. 2. Die ſtereographiſche Projection. Bei dieſer denkt man ſich das Auge O (Fig. 380) in einem Puncte der Kugeloberfläche, welcher dem zu entwerfenden Lande gegenüberſteht, und zieht von dieſem durch die Puncte der Erdoberfläche gerade Linien, bis ſie die Projectionsebene treffen. Bei dieſer Projectionsart erſcheinen alle Kreiſe auf der Kugelfläche wieder als Kreiſe, und dieſe ſchneiden ſich unter denſelben Winkeln wie jene. 3. Die Kegelprojection. Dieſe braucht man zur Darſtellung kleiner Theile der Erdoberfläche. Berührt z. B. der Kegel abc (Fig. 381) die Kugelfläche in der Zone bdce, ſo erhält man durch Abwicklung des Kegels auf einer Ebene die Parallelkreiſe de, bc als Kreisbögen von den Halbmeſſern da, ba, und die Meridiane werden gerade in a zuſammenlaufende Linien. — Bei der Abbildung kleiner Stücke der Erde, die man als eben betrachten kann, zieht man die Parallelkreiſe und Meridiane als gerade, ſich unter rechten Winkeln ſchneidende Linien ſo, daß ſie Rechtecke bilden, oder wenn dieſes nicht wohl angeht, ſo vermindert man die Grade der äußerſten Parallelkreiſe im gehörigen Verhältniſſe gegen die der Meridiane, und verbindet dann die Theilungspuncte durch gerade Linien, damit man Trapeze erhalte, welche von Rechtecken deſto mehr abweichen, je größer der Breitenunterſchied der äußerſten Parallelkreiſe iſt. — Seekarten werden am zweckmäßigſten nach einer Projection entworfen, vermöge welcher die Meridiane und Parallelkreiſe Rechtecke mit einander machen, ſo daß die Grade der Parallelkreiſe einander gleich bleiben, aber die der Meridiane in demſelben Verhältniſſe wachſen, in welchem die Grade der Parallelkreiſe der Kugeloberfläche abnehmen. Man nennt ſie Mer-

cators oder reducirte Karten. Sie gewähren den Vortheil, daß die Richtungen der Winde mit allen Meridianen der Karte gleiche Winkel und gerade Linien machen, während ſie auf der Kugel krumme Linien, ſogenannte Loxodromien bilden. (Mehr hierüber liefert; Mayer's gründlicher und ausführlicher Unterricht zur practiſchen Geometrie. Erlangen 1815. 4. Th. Kapitel 3—7. Littrow's theoretiſche und practiſche Aſtronomie. Wien 1821. 2. B. S. 336.)

27. Aus der durch obige Gründe bewieſenen Bewegung der Erde läßt ſich ſchon ſchließen, daß ſie keine ſphäriſche Geſtalt haben könne, ſondern an den Polen etwas abgeplattet ſeyn müſſe, wenn ſie ſich ja einmal in einem Zuſtande befunden hat, wo die Theile dem Zuge der Schwere ungehindert folgen konnten; denn die aus ihrer Axendrehung entſtandene Fliehkraft mußte die Schwere am Aequator am meiſten vermindern, und daſelbſt eine Protuberanz, an den Polen hingegen eine Abplattung hervorbringen. Auch der Umſtand, daß der größere Theil der Erdfläche mit Waſſer bedeckt iſt, und dieſes den bewegenden Kräften leicht folgt, läßt auf das Vorhandenſeyn der abgeplatteten Geſtalt der Erde ſchließen. Man iſt ſogar im Stande, die Größe der Abplattung der Erde bloß aus der bei ihrer Axendrehung entſtehenden Fliehkraft oder aus der Wirkung, die der Mond auf die Erde wegen ihrer Abplattung ausübt, zu berechnen. Sie läßt ſich aber auch durch Meſſungen der Meridiangrade in verſchiedenen Breiten und durch Beobachtung der Pendellänge an verſchiedenen Orten finden. Zum Behufe der Gradmeſſungen wird zuerſt der Unterſchied der Polhöhe zweier Oerter beſtimmt. Da dieſer die Größe des dazwiſchen gelegenen Bogens des Meridians in Graden angibt; ſo kann man, wenn er geometriſch nach Klaftern beſtimmt iſt, hieraus auf die Größe eines Grades ſchließen. Dieſe Meſſungen, auf ſolche Art vorgenommen, zeigen bald, daß die Meridiangrade in verſchiedenen Breiten eine verſchiedene Größe haben und mit der Breite zunehmen, mithin daß die Erde an den Polen abgeplattet ſey. Nimmt man nun an, die Erde ſey ein durch Umdrehung einer Ellipſe entſtandenes Sphäroid, ſo reicht die Länge zweier Meridiangrade hin, den Unterſchied zwiſchen der großen und kleinen Axe der Ellipſe, d. i. die Differenz zwiſchen der Axe des Aequators und jener des Meridians an den Polen der Erde zu beſtimmen. Man nennt dieſen Unterſchied, in Theilen der durch die Pole gehenden Axe ausgedrückt, die Größe der Abplattung oder die Ellipticität der Erde. Um die Abplattung der Erde aus Pendelbeobachtungen abzuleiten, muß man die Länge des Secundenpendels an Orten von ſehr verſchiedener Breite beſtimmen, von dieſer das Verhältniß der Schwere in dieſen Stationen ableiten, und aus dieſem Verhältniſſe auf das der Entfernung der Stationen vom Centrum der Erde ſchließen. Wenn man die Reſultate der Berechnung der Abplattung aus der Fliehkraft, aus Gradmeſſungen und Pendelbeobachtungen mit einander vergleicht; ſo findet man leider ziemlich große Differenzen, wie ſich dieſes bei einer ſo ſchwierigen Unterſuchung, wo man immer vom Kleinen aufs Große ſchließen muß, und bei dem Umſtande, daß die Geſtalt der Erde wahrſcheinlich nicht einmal ganz

ſymmetriſch iſt, kaum anders erwarten ließ. In der neueſten Zeit ſind die bei den älteren und neueſten Gradrechnungen gewonnenen Daten von Beſſel ſehr genau in Rechnung genommen worden, und haben folgende Reſultate gegeben, die darum auch als der Wahrheit zunächſt ſtehend angeſehen werden können:

Halbmeſſer des Aequators . . 3271953,854 Toiſen.
» » » Poles . . . . . 3261072,900 »

Verhältniß beider 300,7047 : 299,7047, mithin die Abplattung in runder Zahl $\frac{1}{300}$. Der fünfzehnte Theil eines Aequatorgrades, den man eine geographiſche Meile zu nennen pflegt, hat daher 3807,091 Toiſen = 22842,55 P. Fuß.

28. Wiewohl die Größe der Erde gegen die Himmelsſphäre verſchwindet, und daher der ſcheinbare Ort eines Punctes dieſer Sphäre von dem Standpuncte des Beobachters auf der Erde ganz unabhängig iſt; ſo iſt doch ein Erdhalbmeſſer nicht auch gegen die Entfernung der Planeten, des Mondes und der Sonne verſchwindend klein, und es hängt der ſcheinbare Ort dieſer Körper am Himmelsgewölbe von dem Standpuncte des Beobachters auf der Erde ab. Stellt AB (Fig. 382) einen Durchſchnitt der Erde vor, welcher durch zwei Beobachtungsorte A und B geht, abc den Durchſchnitt der Himmelsſphäre, an welcher uns die Himmelskörper erſcheinen; ſo wird ein Stern S von A aus geſehen in s′, von B aus geſehen in s erſcheinen. Der Winkel ASB, den die Geſichtslinien AS und BS in S machen, heißt die Parallaxe des Sternes. Um richtige und übereinſtimmende Reſultate über die relative Lage der Himmelskörper zu erhalten, reducirt man alle, gegen deren Entfernung die Größe der Erde nicht verſchwindet, auf den Ort, wo ſie vom Mittelpuncte der Erde aus erſcheinen. Iſt C (Fig. 382) der Mittelpunct der Erde und eines Durchſchnittes derſelben, welcher in einer durch den Stern S′ und den Beobachtungsort A gehenden Verticalebene liegt; ſo erſcheint S′ von C aus geſehen im Puncte s″ der Himmelsſphäre; mithin muß die ſcheinbare Höhe des Sternes um die Parallaxe AS′C vermehrt werden, damit man ſeine wahre Höhe finde. Daß dieſe Parallaxe immer kleiner werde, je mehr ſich S′ dem Scheitelpuncte nähert, und daß ſie im Zenith ſelbſt verſchwinde, iſt klar. Aehnliche Correctionen müſſen auch an der Abweichung und geraden Aufſteigung eines ſolchen Geſtirnes angebracht werden, um ſie vom Einfluſſe des Standortes auf der Erde zu befreien.

Man hat verſchiedene Methoden, die Parallaxe eines Sternes zu finden, die deſto mehr Genauigkeit gewähren, je näher der Körper der Erde ſteht. Um aber die Parallaxe vom Einfluſſe der Höhe des Geſtirnes, bei dem ſie gefunden wurde, zu befreien, muß man ſie auf jene reduciren, welche der Himmelskörper im Horizonte hat. Iſt $ASC = h$ die Horizontalparallaxe des Sternes S, $AS'C = a$ die Höhenparallaxe deſſelben Sternes S′, $AC = r$ der Erdhalbmeſſer; ſo hat man: $r : SC = \sin h : 1$; $r : S'C = \sin a : \cos SAS'$, mithin, weil $SC = S'C$ iſt,

$$\sin h : 1 = \sin a : \cos SAS' \text{ und } \sin h = \frac{\sin a}{\cos SAS'}.$$

Die Parallaxe eines Geſtirnes S dient oft zur Beſtimmung ſeiner Entfernung vom Mittelpuncte der Erde und ſeiner Größe. Denn im Dreiecke ASC iſt $r : SC = \sin h : 1$, und daher

$$SC = \frac{r}{\sin h}.$$

Denkt man ſich einen Beobachter in S, ſo erſcheint ihm der Halbmeſſer der Erde AC unter dem Winkel $ASC = h$. Beſtimmt man nun den ſcheinbaren Halbmeſſer ρ des Geſtirnes von der Erde aus geſehen, ſo muß er ſich zu ſeiner Horizontalparallaxe h verhalten, wie der wahre Halbmeſſer des Geſtirns R zum Halbmeſſer der Erde r, oder es iſt $\rho : h = R : r$, und daher $R = \frac{\rho}{h} r$ und für $r = 1$ wird $R = \frac{\rho}{h}$.

Ueber dieſes Kapitel ſiehe: Anleitung zur allgemeinen Kenntniß der Erdkugel von Bode. Berlin 1820. Lehrbuch der mathematiſchen Geographie von Fries. Leipzig 1814. Allgemeine mathematiſche Erdbeſchreibung von Hochſtetter. Stuttgart 1820. *La figure de la terre par M. Bouguer, et de la Condamine. Paris* 1787—1788. Lehrbuch der math. und phyſiſchen Geographie von Schmidt. Göttingen 1829. Handbuch der mathemat. und phyſiſchen Geographie von Muncke. Heidelberg 1830. (Als zweiter Theil ſeines Handbuches der Naturlehre.)

Viertes Kapitel.

Scheinbare Bewegung der Sonne und jährliche Bewegung der Erde.

29. Schon der Umſtand, daß den nächtlichen Himmel immer andere Sterne ſchmücken, und daß erſt nach einem Jahre wieder dieſelben zum Vorſcheine kommen, zeigt, daß der Sonne nebſt der täglichen Bewegung, die ſie mit dem ganzen Himmel gemein hat, auch noch eine eigene zukommen müſſe; allein noch mehr überzeugt man ſich davon und zugleich von der Richtung dieſer Bewegung, wenn man einen Fixſtern mit der Sonne einige Zeit hindurch vergleicht. Geht man von dem Tage aus, wo ein ſolcher Fixſtern mit der Sonne zugleich aufgeht, ſo wird man bald bemerken, daß erſterer ſchon nach einigen Tagen der Sonne gleichſam vorauseile, nach ungefähr drei Monaten ſchon culminire, wenn dieſe aufgeht, nach einem halben Jahre bei Sonnenaufgang untergehe, und daß erſt nach einem ganzen Jahre der Aufgang beider wieder in dieſelbe Zeit falle. Die jährliche Bewegung der Sonne iſt daher der täglichen entgegengeſetzt.

30. Man hat mit großer Genauigkeit die Lage der Sonnenbahn an der Himmelsſphäre kennen gelernt, indem man aus der Beobachtung der Mittagshöhe der Sonne auf ihre Bewegung in der Richtung des Meridians und aus dem Zeitunterſchiede zwiſchen ihrer Culmination und der eines Fixſternes auf ihre Bewegung in der Richtung der Parallelkreiſe ſchloß; denn die Reſultirende beider Bewegungen gibt

die Lage der Sonnenbahn. Dadurch fand man, daß dieſe Bahn in einer Ebene liege, die den Aequator ſchneidet, und gegen ihn unter einem Winkel von nahe 23° 28′, mithin gegen die Erdaxe unter einem Winkel von nahe 66° 32′ geneigt ſey. Der Durchſchnitt dieſer Ebene mit der Himmelsſphäre gibt einen Kreis am Himmel, der ſchon früher (11) unter dem Namen Ekliptik vorkam, und deſſen Neigung gegen den Aequator die Schiefe der Ekliptik genannt wird. Die Puncte, wo die Ekliptik den Aequator ſchneidet, ſind ſchon vorhin Aequinoctialpuncte genannt worden. Der nördlichſte und ſüdlichſte Punct der Ekliptik heißen Solſtitialpuncte, und zwar jener Sommerſolſtitialpunct, dieſer Winterſolſtitialpunct; die durch ſie gehenden Parallelkreiſe führen den Namen Wendekreiſe. Die Parallelkreiſe, in welchen die Pole der Ekliptik liegen, nennt man Polarkreiſe. Die Meridiane, welche durch die Solſtitial- und Aequinoctialpuncte gehen, heißen Coluren. Schon in den älteſten Zeiten hat man die Ekliptik in zwölf gleiche Theile oder Zeichen getheilt, wovon alſo jedes 30 Grade enthält. Sie haben von den benachbarten Sternbildern die Namen: Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Scorpion, Schütze, Steinbock, Waſſermann, Fiſche, und führen der Ordnung nach die Zeichen:

♈, ♉, ♊, ♋, ♌, ♍, ♎, ♏, ♐, ♑, ♒, ♓.

31. Wenn man die Zeit, welche die Sonne braucht, um vom Frühlingsäquinoctialpuncte zum Herbſtäquinoctialpuncte zu kommen, mit der vergleicht, in welcher ſie von dieſem Puncte zu jenem gelangt; ſo findet man, daß ſie zu erſterem Wege faſt um 8 Tage mehr braucht als zu letzterem. Es iſt daher die Bewegung der Sonne in ihrer Bahn keine gleichförmige. Genaue Beobachtungen haben kennen gelehrt, daß die Geſchwindigkeit der Sonne in einem Puncte ihrer Bahn am größten ſey, der ſich in der Nähe des Winterſolſtitialpunctes befindet, daß ſie von da an immer kleiner, in einem dem Sommerſolſtitium nahen Puncte am kleinſten werde, und von hier aus gegen erſteren wieder wachſe. Mit der größten Geſchwindigkeit beſchreibt ſie täglich einen Bogen von 1°,0104, mit der kleinſten einen Bogen von 0°,9534, und ihrer mittleren Geſchwindigkeit entſpricht ein Bogen von 0°,9856. Dieſe Aenderungen der Geſchwindigkeiten könnten auch ſcheinbar ſeyn, und durch eine Aenderung der Entfernung hervorgebracht werden; denn derſelbe Bogen erſcheint kleiner oder größer, je nachdem er mehr oder weniger vom Beobachter entfernt iſt. Wirklich zeigen Beobachtungen, daß die Sonne gerade da, wo ihre Geſchwindigkeit zunimmt, der Erde näher komme, und daß ihre Entfernung von der Erde wachſe, wenn ihre Geſchwindigkeit im Abnehmen begriffen iſt; denn ihr ſcheinbarer Durchmeſſer, der mit ihrer Entfernung im verkehrten Verhältniſſe ſteht, nimmt in jenem Falle zu, in dieſem ab. Allein wenn die Veränderungen der Geſchwindigkeit der Sonne bloß von ihrer Entfernung abhingen, und an und für ſich ihre Geſchwindigkeit beſtändig wäre; ſo müßte ſich ihr ſcheinbarer Durchmeſſer ge-

rade in demſelben Verhältniſſe vermindern, in welchem ihre Geſchwindigkeit kleiner wird. Dieſer nimmt aber in einem zweimal größeren Verhältniſſe ab, als ihre Geſchwindigkeit, und es muß daher die Geſchwindigkeit der Sonne wirklich kleiner werden, indem ſie ſich von uns entfernt und umgekehrt. Der Erfahrung gemäß iſt das Product des in einer Zeiteinheit zurückgelegten Bogens in das Quadrat ihrer Entfernung eine beſtändige Größe.

32. Wenn durch Beobachtungen des ſcheinbaren Durchmeſſers der Sonne die Veränderungen der Entfernung (des Radius Vectors) und durch die Größe des in einem Tage zurückgelegten Bogens in ihrer Bahn die Lage des Mittelpunctes der Sonne Tag für Tag gegeben iſt; ſo kann man auch Tag für Tag die Lage und Länge des Radius Vectors verzeichnen, und durch die Endpuncte eine krumme Linie ziehen, welche die Sonnenbahn vorſtellen wird. So überzeugt man ſich, daß dieſe Bahn eine Ellipſe iſt, in deren einem Brennpuncte ſich die Erde zu befinden ſcheint. Die Excentricität dieſer Ellipſe iſt ſehr gering, denn die große Axe derſelben beträgt 1,03416, wenn man die kleine = 1 ſetzt. Den Punct der Sonnenbahn, der die größte Entfernung von der Erde hat, nennt man ihr Apogäum; denjenigen, deſſen Entfernung von der Erde am kleinſten iſt, Perigäum. Die gerade Linie, welche beide Puncte verbindet, oder die große Axe der Ellipſe, heißt Abſidenlinie.

33. Die Erſcheinungen der jährlichen Bewegung der Sonne laſſen ſich ſowohl aus einer wirklichen Bewegung der Sonne um die Erde, als aus einer Bewegung der Erde um die Sonne erklären. Der bloße Augenſchein kann hier ſo wenig einen Schiedsrichter abgeben, als er es bei der täglichen Bewegung zu thun vermochte; es müſſen daher andere Gründe für die eine oder die andere dieſer Bewegungen ſprechen. Dieſe fallen aber alle zu Gunſten der Bewegung der Erde um die Sonne aus, wie Folgendes zeigt: Es mag die Bewegung der Sonne oder der Erde als wirklich angenommen werden, ſo muß ſie durch Centralkräfte bewirkt werden, weil nur dadurch die bei der krummlinigen Bewegung entſtandene Fliehkraft aufgehoben werden kann, und weil die beſchriebenen Sectoren ihren Zeiten proportionirt ſind Allein die Folge wird zeigen, daß die Sonne ein viel größerer Körper ſey, als die Erde. Wie kann daher die Erde eine Centralkraft beſitzen, welche die Sonne in ihrer Bahn erhält? um wie viel natürlicher iſt es, der Sonne dieſe Kraft anzuweiſen, und ſo den kleineren Körper um den größeren ſich bewegen zu laſſen. Die Gründe, welche etwa ein Erdbewohner für die Bewegung der Sonne um die Erde haben dürfte, hat auch ein Bewohner jedes anderen Planeten für die Bewegung der Sonne um dieſen Planeten, weil wir an jedem derſelben eine jährliche Bewegung wahrnehmen. Allein, abgeſehen von der Schwierigkeit, welche die beobachtete Ungleichheit der Umlaufszeiten der Sonne um jeden einzelnen Planeten mit ſich führen würde; ſo geriethe man in directen Widerſpruch mit den unumſtößlichen Geſetzen der Bewegung, während alles im beſten Einklange

mit dieſen Geſetzen iſt, wenn man eine Bewegung der Erde um die Sonne annimmt.

Fünftes Kapitel.

Ergebniſſe aus der täglichen und jährlichen Bewegung der Erde.

34. Aus der im Vorhergehenden bewieſenen zweifachen Bewegung der Erde und aus den Aenderungen der Elemente ihrer Bahn, laſſen ſich alle Phänomene, welche die relative Lage der Erde überhaupt, und die jedes Punctes derſelben gegen die Sonne betreffen, vollkommen begreifen. Vermöge dieſer Bewegungen beſchreibt jeder Punct der Erde in einer gegebenen Zeit eine Bahn, welche die Reſultirende der Wege iſt, die er durch jede einzelne Bewegung für ſich zurücklegen würde, und die daher für jeden einzelnen Fall leicht zu finden iſt, wenn man nur jede einzelne Bewegung genau kennt.

35. Von der Axendrehung der Erde hängt der Wechſel von Tag und Nacht, ſo wie überhaupt der Auf- und Untergang der Geſtirne ab. Denkt man ſich einen Halbmeſſer der Erde durch einen Punct A der Erdoberfläche außer der Erdaxe bis zur Himmelsſphäre verlängert, ſo trifft er wegen der täglichen Bewegung der Erde immer andere Puncte. Befindet ſich nun in dem Puncte der Himmelsſphäre, welchen er trifft, ein Fixſtern; ſo wird dieſer dem Erdbewohner, der ſeine eigene Bewegung von Weſt nach Oſt nicht gewahr wird, einen Kreis am Himmel zu beſchreiben ſcheinen, der deſto größer iſt, je näher der Winkel, den der Radius von A mit der Erdaxe macht, einem rechten kommt. Iſt dieſer Winkel = 0, oder liegt A in einem Pole, ſo wird der Punct am Himmel zu ruhen ſcheinen, und alſo ein Pol der Himmelsſphäre ſeyn; beträgt jener Winkel 90°, ſo wird ſeine Bahn am größten, ſie liegt im Himmelsäquator. Die Umlaufszeit eines Fixſternes iſt demnach zugleich die der Umdrehung der Erde um ihre Axe. Man nennt ſie einen **Sterntag** und theilt ſie in 24 gleiche Theile, **Sternſtunden** ab. Jeder Punct des Aequators beſchreibt in einem ſolchen Tage 5400 Meilen, mithin in einer Secunde 1428 Par. F. In Puncten außer dem Aequator iſt dieſe Bewegung langſamer, und zwar nach Verhältniß des Coſinus ihrer Breite.

36. Vermöge der jährlichen Bewegung der Erde haben alle ihre Theile eine gleiche Geſchwindigkeit und legen im Durchſchnitte in einem Tage einen Weg von 346836 Meilen, mithin in einer Secunde nahe 4 M. zurück. Dieſe Bewegung iſt der täglichen der Richtung nach entgegengeſetzt, und daher kommt es, daß die Zeit, in welcher die Sonne einen Umlauf um die Erde zu machen ſcheint, größer ausfällt als die, in welcher ein Fixſtern daſſelbe thut. Man nennt die Zeit eines ſcheinbaren täglichen Sonnenumlaufes **Sonnentag** und ſeinen 24ſten Theil eine **Sonnenſtunde**. Wegen der Ungleichförmig-

keit der jährlichen Bewegung der Erde iſt der Sonnentag nicht immer gleich lang. Weil dieſes den Geſchäften des bürgerlichen Lebens, die man ſtets nach Sonnenzeit regulirt, nicht günſtig iſt; ſo nimmt man eine Sonne an, welche ihre jährliche ſcheinbare Bahn in derſelben Zeit zurücklegt, wie die wahre, allein mit ſtets gleicher Geſchwindigkeit und parallel mit dem Aequator. Man nennt ſie die *mittlere Sonne*, die Zeit ihres Umlaufes *mittleren Sonnentag*, ihren 24ſten Theil *mittlere Sonnenſtunde* u. ſ. f. Der Unterſchied zwiſchen der wahren und mittleren Sonnenzeit heißt *Zeitgleichung*. Es liegt in der Natur der jährlichen Bewegung der Erde, daß die wahre Zeit bald der mittleren voreilt, bald hinter ihr zurückbleibt. Am meiſten voraus iſt ſie Anfangs November, am meiſten zurück in der Mitte Februar und zwar erſteres um 16′ 16″, letzteres um 14′ 34″. Viermal des Jahres fallen die mittlere und wahre Zeit zuſammen, oder die Zeitgleichung iſt = 0. Ein Sterntag hat 23 St. 56 M. 4,1 S. nach mittlerer Sonnenzeit. Unſere Uhren zeigen in der Regel mittlere Sonnenzeit, nur die Aſtronomen laſſen ihre Uhren oft nach Sternzeit gehen. Eine Sonnenuhr zeigt wahre Sonnenzeit, und kann daher mit einer mechaniſchen Uhr nicht immer harmoniren.

37. Von der jährlichen Bewegung der Erde hängt die Dauer des *Jahres* ab. So heißt nämlich die Zeit, innerhalb welcher die Erde wieder zum Frühlingsäquinoctialpuncte zurückkehrt, und zwar nennt man dieſes insbeſondere *tropiſches* Jahr, zum Unterſchiede vom *ſideriſchen*. Letzteres hat 365 T. 6 St. 9 M. 10,7496 Sec. und kann als unveränderlich angeſehen werden; erſteres umfaßte im Jahre 1841 365 T. 5 St. 48 M. 47,565 Sec. = 365 T. 5,8132125 St. Es wird in einem Jahrhundert um 0″,595 kürzer. Im bürgerlichen Leben rechnet man das Jahr zu 365 Tagen, nur jedes vierte Jahr bekommt 366 Tage und heißt *Schaltjahr*; der eingeſchaltete Tag iſt der 23. Februar. Dieſe Zeitrechnung wurde von *Julius Cäſar* 46 J. vor Chriſti Geburt eingeführt, und heißt deßhalb *Julianiſche* Zeitrechnung. Allein da hierbei das Jahr zu 365 T. 6 St. gerechnet ward, beging man jährlich einen Fehler von 0,1867875 St., der ſchon nach 128 Jahren einen Tag ausmachte. Zur Zeit der Nicäa'ſchen Kirchenverſammlung 325 n. Ch. hatte er 3 Tage erreicht, und man ſah ſich gezwungen dieſe 3 Tage auszulaſſen; allein im Jahre 1582 erreichte er abermals 10 Tage und es fiel die Frühlingsnachtgleiche, welche nach J. *Cäſar* auf den 21. März fallen ſollte, auf den 11. dieſes Monats. Dieſes bewog den damaligen Pabſt *Gregor* XIII. abermals zehn Tage wegzulaſſen, und anzuordnen, daß für die Zukunft alle 400 Jahre drei Schalttage vernachläßiget werden. Deßhalb waren ſchon 1700, 1800 gemeine Jahre, wiewohl ſie der Regel nach Schaltjahre hätten ſeyn ſollen; auch wird 1900 wieder ein gemeines Jahr ſeyn. Indeß wäre dadurch nicht aller künftigen Verwirrung vorgebeugt, weil man in 400 Jahren doch noch einen Fehler begeht, wenn nicht zugleich dafür durch beſondere Anordnungen geſorgt wäre.

Da nebſt der von der Natur gegebenen Zeiteintheilung in Tage auch noch die in Wochen von 7 Tagen beſteht, ſo bekommt jedes gemeine Jahr $\frac{365}{7} = 52$ Wochen 1 Tag, und jedes Schaltjahr $\frac{366}{7} = 52$ Wochen 2 Tage. Ein gemeines Jahr endiget mit demſelben Wochentage, mit welchem es anfing, und der Anfang des nächſten gemeinen Jahres fällt auf den folgenden Wochentag. Bezeichnet man die erſten 7 Tage des Monats Jänner mit den Buchſtaben A, B, C, D, E, F, G und die folgenden wieder nach derſelben Ordnung mit A angefangen; ſo muß der letzte Tag eines gemeinen Jahres A ſeyn, wenn der erſte A iſt. Der Buchſtabe, welcher auf den erſten Sonntag fällt, heißt Sonntagsbuchſtabe. Dem Geſagten zu Folge rückt der Sonntagsbuchſtabe in verkehrter Ordnung von G nach A jährlich um eine Stelle weiter, nur in einem Schaltjahre geſchieht dieſes um zwei Stellen. Auch bekommt das Schaltjahr zwei Sonntagsbuchſtaben, einen vor und einen nach dem Schalttage. Gäbe es keine Schaltjahre, ſo würde derſelbe Sonntagsbuchſtabe alle ſieben Jahre zurückkehren; iſt aber jedes vierte Jahr ein Schaltjahr, ſo geſchieht dieſes erſt nach $4 \times 7 = 28$ Jahren. Dieſe Periode von 28 Jahren heißt Sonnenzirkel. Denſelben Namen führt auch die Zahl, welche anzeigt, das wievielte dieſer Periode ein gegebenes Jahr ſey. (Littrow's Kalendariographie. Wien 1828.)

38. Von beſonders großem Einfluſſe iſt die Neigung der Erdbahn gegen ihre Rotationsaxe; denn davon hängt die verſchiedene Neigung der auf die Erde einfallenden Sonnenſtrahlen ab, welche mit ihrer erwärmenden Kraft in Verbindung ſtehen, ſo wie die Dauer ihrer Einwirkung. Wäre die Erdaxe ſenkrecht auf der Ekliptik, ſo würden die Strahlen der Sonne zu Mittag in demſelben Orte das ganze Jahr hindurch unter demſelben Winkel einfallen, und daher bei übrigens gleichen Umſtänden auch täglich nahe dieſelbe Erwärmung hervorbringen; allein bei der Einrichtung der Dinge, wo die Erdaxe unter 66° 32′ gegen die jährliche Bahn geneigt iſt, ändert ſich dieſer Winkel täglich. Es ſey z. B. S die Sonne (Fig. 383), E ein Durchſchnitt der Erde in einer Lage gegen die Sonne, E′ derſelbe in derjenigen Lage, welche die Erde nach einem halben Jahre einnimmt, Pp die Erdaxe, Aa der Erdäquator, M ein Punct der Erde, welcher zu Mittag die Sonne im Scheitel hat, o und o′ ein anderer, auf den die Mittagsſtrahlen ſchief auffallen, oz und o′z′ ſeine Scheitellinie. Man ſieht da deutlich, daß der Einfallswinkel in der Lage E gleich Soz, in der Lage E′ aber So′z′ und offenbar erſterer Winkel kleiner als letzterer iſt. Im aſtronomiſchen Sinne heißt für einen in der nördlichen Halbkugel der Erde gelegenen Ort die Zeit, während welcher die nördliche Abweichung der Sonne wächſt, Frühling; diejenige, während welcher ſie abnimmt, Sommer; diejenige, während welcher die ſüdliche Abweichung wächſt, Herbſt, und endlich jene, während welcher dieſe abnimmt, Winter. Während in der nördlichen Halbkugel Sommer iſt, herrſcht in der ſüdlichen Winter; während des Herbſtes der nördlichen Hemiſphäre hat die ſüdliche Frühling und umgekehrt. Dieſe Jahreszeiten ſind nicht von gleicher Dauer, weil auch die jährliche Bewegung der Erde nicht gleichförmig iſt. Jetzt dauert bei uns der Frühling 92 T. 22 St., der Sommer 93 T. 14 St., der

Herbſt 89 T. 17 St., und der Winter 89 T. 1 St. In der Neigung der Erdaxe gegen die Erdbahn liegt auch der Hauptgrund, warum die Sonne nicht das ganze Jahr hindurch gleich lang über dem Horizonte verweilt, oder wie man zu ſagen pflegt, warum es nicht gleich lang Tag iſt. Iſt z. B. C (Fig. 384) ein Punct der Erde, der die Polhöhe PCH hat, mithin Hh ſein Horizont, Pp die Weltaxe, Aa der Aequator, Bb, Dd, Gg, Kk Parallelkreiſe, welche in q, r, s, t vom Horizonte geſchnitten werden; ſo ſtellen AC, Bq, Dr, Gs, Kt die Theile der Parallelkreiſe vor, welche über dem Horizonte liegen, hingegen Ca, qb, rd, sg, tk diejenigen, welche ſich unter demſelben befinden. Betrachtet man nun die ſcheinbare Bewegung der Sonne während eines täglichen Umlaufes als gleichförmig; ſo geben ſolche zwei Stücke des Parallelkreiſes der Sonne das Verhältniß zwiſchen der Dauer von Tag und Nacht für dieſe Zeit an. Hieraus ſieht man, daß Tag und Nacht gleich ſind, wenn ſich die Sonne im Aequator befindet, daß der Tag länger iſt als die Nacht, wenn die Sonne gegen P abweicht, und zwar deſto mehr, je größer dieſe Abweichung wird, und daß das umgekehrte Verhältniß Statt findet, wenn die Sonne gegen p abweicht. Wenn PCH größer wird, ſo ſchneidet auch Hh die Parallelkreiſe in noch ungleichere Stücke; daher muß in derſelben Zeit die Differenz zwiſchen Tag und Nacht deſto größer ſeyn, je größer die Polhöhe eines Ortes iſt. Deßhalb iſt in Ländern, deren Breite oder Polhöhe = 0 iſt, das ganze Jahr Tag und Nacht gleich, und aus dieſer Urſache dauert der längſte Tag in Oertern von großer Polhöhe mehrere Wochen, ja Monate, bis bei einer Polhöhe von 90° das ganze Jahr nur in einen Tag und eine Nacht zerfällt.

Folgendes Verzeichniß gibt die Dauer des längſten Tages für Länder von gegebener Polhöhe.

Polhöhe.	Dauer des längſten Tages.	Polhöhe.	Dauer des längſten Tages.
8 Grad 34 M.	12 St. 30 M.	63 Grad 23 M.	20 St. — M.
16 » 44 »	13 » — »	64 » 11 »	20 » 30 »
24 » 12 »	13 » 30 »	64 » 50 »	21 » — »
30 » 48 »	14 » — »	65 » 22 »	21 » 30 »
36 » 31 »	14 » 30 »	65 » 48 »	22 » — »
41 » 24 »	15 » — »	66 » 8 »	22 » 30 »
45 » 32 »	15 » 30 »	66 » 21 »	23 » — »
49 » 2 »	16 » — »	66 » 29 »	23 » 30 »
52 » 0 »	16 » 30 »	66 » 32 »	24 » — »
54 » 31 »	17 » — »	67 » 23 »	1 Monat.
56 » 38 »	17 » 30 »	69 » 50 »	2 »
58 » 27 »	18 » — »	73 » 39 »	3 »
60 » 0 »	18 » 30 »	78 » 31 »	4 »
61 » 19 »	19 » — »	84 » 5 »	5 »
62 » 26 »	19 » 30 »	90 » 0 »	6 »

39. Die Elemente der Erdbahn ſind nicht unveränderlich, ſondern alle bis auf die große Axe der Ellipſe unterliegen kleinen Veränderungen. Genaue Beobachtungen haben gelehrt, daß ſich die Lage

der Fixſterne gegen den Aequator alle Jahre ändere, während ſie gegen die Ekliptik unverändert bleibt. Dieſe Veränderung rührt davon her, daß die Aequinoctialpuncte auf der Ekliptik jährlich um eine gewiſſe Größe von Oſt nach Weſt fortrücken, ſo, daß ſie in 72 Jahren um 1° oder genauer jährlich um 50″,221 nach Weſt zurück weichen, und in nahe 25,600 Jahren (platoniſches Jahr) einen ganzen Umlauf machen. Es iſt daher die Erdaxe nicht völlig unbeweglich, ſie geht in 25,600 Jahren einmal um die Pole der Ekliptik herum. Man nennt dieſe Bewegung das Vorrücken der Nachtgleichen oder die Präceſſion. Aus derſelben folgt, daß die Erde kürzere Zeit brauche, um wieder zur Nachtgleiche, als um wieder zu demſelben Fixſterne zurückzukehren, oder daß die tropiſche Umlaufszeit kürzer ſey, als die ſideriſche oder wahre.

40. Als das Phänomen des Vorrückens der Nachtgleichen ſchon im Reinen war, bemerkte Bradley doch noch kleine periodiſche Ungleichheiten in der Neigung der Ekliptik gegen den Aequator und in der Präceſſion, die man erklärt, wenn man annimmt, daß ſich die Erdpole nicht in einem Kreiſe bewegen, wie dieſes das Vorrücken der Nachtgleichen allein für ſich fordert, ſondern daß dieſes in einer kleinen Ellipſe geſchehe, deren Umfang in 18 Jahren zurückgelegt wird, welche Ellipſe aber ſelbſt ihren Mittelpunct im Umfange des Kreiſes hat, der vermöge der Präceſſion beſchrieben wird. Dieſe Bewegung begreift man unter dem Namen der Nutation (Wanken der Axe).

41. Die Schiefe der Ekliptik erleidet zwar ſchon durch die Nutation eine kleine Veränderung, die alle 18 Jahre wieder von Neuem beginnt; allein ſelbſt abgeſehen von dieſer Veränderung, unterliegt dieſer Winkel einem periodiſchen Wachſen und Abnehmen. Nach La Place beträgt der ganze Umfang dieſer Veränderung 6° 20′, und dazu braucht es mehrere tauſend Jahre. Gegenwärtig iſt die Schiefe = 23° 27′ 35″,8 und nimmt jährlich um 0″,4758 ab, bis ſie den Werth von 21° erreicht, wo ſie dann wieder zu wachſen anfängt.

42. Die Sonnenferne und Sonnennähe fallen nicht immer in dieſelbe Stelle der Erdbahn, ſondern ſie rücken jährlich um 61″,47 in der Ekliptik vor, ſo daß die Erde mehr Zeit braucht, um wieder zur Sonnennähe, als um wieder zu einem Fixſterne zurückzukehren, und das ſogenannte anomaliſtiſche Jahr länger iſt als das ſideriſche.

43. Vermöge der Präceſſion und Nutation ändert ſich nur die Lage der Sterne gegen den Aequator und die Ekliptik, nicht aber gegen einander. Allein Bradley bemerkte an den Fixſternen auch noch eine kleine, periodiſche Aenderung ihrer Lage gegen einander. Um ſich dieſe Bewegung vorzuſtellen, laſſe man jeden Fixſtern jährlich einen kleinen, mit der Ekliptik parallelen Kreis, deſſen Centrum der mittlere Ort des Sternes iſt, und deſſen Durchmeſſer, von der Erde aus geſehen, ungefähr 20″ beträgt, eben ſo beſchreiben, wie die Sonne ſich in der Ekliptik bewegt, jedoch ſo, daß dieſe immer um 90° voraus iſt. Dieſer Kreis erſcheint am Himmelsgewölbe als Ellipſe von größerer oder

kleinerer Excentricität, je nachdem der Stern weniger oder mehr von der Ekliptik entfernt iſt. In der Ekliptik ſelbſt geht dieſe Ellipſe in eine gerade Linie über. Dieſes Phänomen führt den Namen Aberration. Daß es nicht durch eine den Sternen eigene Bewegung hervorgebracht werde, ſondern in einer Bewegung außer den Geſtirnen ſeinen Grund habe, läßt ſich ſchon aus der allen Sternen gemeinſchaftlichen Größe des Kreiſes vermuthen, der nur durch ſeine Projection auf die Himmelsſphäre eine mehr oder weniger excentriſche Ellipſe erzeugt. Da überdieß alle dieſe Kreiſe mit der Ekliptik parallel liegen und der Ort des Sternes in dieſem Kreiſe in ſo genauer Verbindung mit dem der Sonne ſteht; ſo bleibt wohl kein Zweifel, daß der Grund dieſer Erſcheinung in der Bewegung der Sonne oder der Erde liege. Eine genaue Betrachtung der Sache zeigt, daß ſich alles bis auf die kleinſten Zahlenwerthe erkläre, wenn man die durch andere Erſcheinungen bewieſene, ſucceſſive Fortpflanzung des Lichtes mit der jährlichen Bewegung der Erde zuſammenſetzt. Wie dieſes geſchieht, mag folgende Betrachtung lehren: Es ſey S (Fig. 385) ein Stern, der dem Beobachter A einen Strahl SA zuſendet. Das Licht kommt in A mit dem Beſtreben an, in einer gegebenen Zeit nach der Verlängerung von SA den Weg AB zurückzulegen. Bewegt ſich der Beobachter und legt er in derſelben Zeit den Weg AC zurück, ſo wirkt das Licht auf deſſen Auge gerade ſo ein, als ob es, nebſt ſeiner eigenen Bewegung, auch noch eine der Bewegung des Beobachters gleiche und entgegengeſetzte beſäße, dieſer aber in Ruhe wäre. Nimmt man dem zu Folge $AD = AC$, ſo gibt die Diagonale AE des Parallelogramms ABED die Richtung an, die der Beobachter im Puncte A ſeiner Bahn dem von S herrührenden Lichte zuſchreibt. Er ſieht daher den Stern in der Verlängerung von EA, z. B. in S′, d. h. er verſetzt ihn nach der Richtung ſeiner eigenen Bewegung um den Winkel SAS′ vorwärts, deſſen Größe ſich aus dem Verhältniſſe der Geſchwindigkeit des Lichtes zu jener der Erde und aus den Richtungen beider berechnen läßt. Man findet ihn $= 10'',2$. Es muß daher ein Stern in einem Jahre ſcheinbar eine Ellipſe beſchreiben, welche der Erdbahn ähnlich iſt, und deren große Axe unter dem Winkel $20'',4$ erſcheint.

Sechstes Kapitel.

Die Planeten und ihre Bewegung um die Sonne.

44. Die Bewegungen der Planeten erſcheinen von der Erde aus viel verwickelter, als die ſcheinbare Bewegung der Sonne; ſie gehen aber faſt alle in einem Gürtel vor ſich, welcher Thierkreis (Zodiacus) heißt, mit der Ekliptik parallel iſt und von ihr in zwei gleiche Theile getheilt wird. Zwei Planeten, Venus und Merkur, begleiten immer die Sonne, und heißen untere Planeten, die anderen entfernen ſich bis 180°, und werden obere Planeten genannt.

Wenn ein Planet oder auch ein anderer Himmelskörper ſo gegen die Sonne oder einen anderen Körper zu ſtehen kommt, daß ihr Längenunterſchied 180° beträgt, ſo ſagt man, er ſey in Oppoſition; ſind ihre Längen gleich, ſo iſt er in Conjunction; beträgt der Längenunterſchied 90°, in Quadratur.

45. Die eigene, von der täglichen unabhängige Bewegung der Planeten bietet merkwürdige Veränderungen dar. Man bemerkt, daß zu einer Zeit ihre Bewegung langſamer wird, hierauf völlig aufhört, ſo daß die Planeten wie Fixſterne ihren Platz eine geraume Zeit hindurch unverändert einzunehmen ſcheinen. Nach einiger Zeit nehmen ſie eine der erſten entgegengeſetzte Richtung an, mit der ſie bis zu einem gewiſſen Grade der Geſchwindigkeit fortfahren; iſt dieſer erreicht, ſo nimmt ihre Geſchwindigkeit wieder ab, wird gleich Null, und es beginnt wieder die Bewegung nach der erſteren Richtung. Man ſagt, ein Planet ſey ſtationär, wenn er keine eigene Bewegung zu haben ſcheint; er ſey rechtläufig, wenn er ſich von Weſt nach Oſt bewegt, rückläufig, wenn er eine entgegengeſetzte Richtung hat. Unter allen dieſen Bewegungen iſt die rechtläufige doch die größte, ſo daß man im Allgemeinen ſagen kann, alle Planeten bewegen ſich von Weſt nach Oſt. Die Planetenbahnen erſcheinen demnach, von der Erde aus geſehen, ſo verwirrt, daß es ſchwer hält, ſich Kräfte zu denken, durch welche ſie hervorgebracht werden ſollen. Dieſes muß um ſo auffallender ſeyn, da ſelbſt die ſcheinbare Bewegung der Sonne ſo regelmäßig iſt, und ſich die Natur gleichſam untreu geworden zu ſeyn ſcheint, indem hier ihre ſonſtige Einfachheit und Einheit vermißt wird Es könnte wohl der Fall ſeyn, daß dieſe Verwirrung nur ſcheinbar wäre, und daß wir uns nur nicht an dem Platze befinden, von wo aus die Planetenbahnen angeſehen werden müſſen, um ſich in ihrer Regelmäßigkeit zu zeigen. In der That bleiben zur Erklärung dieſer Erſcheinungen nur zwei Wege übrig: entweder ſind die Planetenbewegungen wirklich ſo verwickelt, wie ſie erſcheinen, und wir befinden uns im Mittelpuncte oder doch innerhalb ihrer Bahnen, oder ſie erſcheinen uns nur ſo verwirrt, weil wir uns nicht an der gehörigen Stelle befinden.

46. Die alten Aſtronomen, an deren Spitze Ptolomäus ſteht, ſahen die Erde als Mittelpunct der Planetenbahnen an, und erklärten ſich ihre verwickelte Bewegung dadurch, daß ſie annahmen, jeder Planet bewege ſich in einem Kreiſe abcd (Fig. 386), der Epicykel heißt, deſſen Mittelpunct ſich in einem anderen Kreiſe BAC um die Erde T bewegt, den man excentriſchen Kreis nannte, weil T außer ſeinem Mittelpuncte liegt. Nach dieſer Hypotheſe hat der Planet die ſchnellſte directe Bewegung, wenn er ſich in ſeiner größten Entfernung b von der Erde befindet, weil da ſeine Bewegung im Epicykel mit der des Epicykels im Kreiſe ABC nach derſelben Richtung geſchieht. Bewegt er ſich aber im Bogen cda, ſo ſcheint er eine der vorigen entgegengeſetzte Richtung, mithin eine rückgängige Bewegung zu haben, obgleich ſeine wahre Bewegung ſtets rechtgängig iſt. Wiewohl dieſe

Hypotheſe die Planetenbahnen auf eine Bewegung in Kreiſen zurückführt und im Allgemeinen die Erſcheinungen zu erklären ſcheint; ſo fehlt doch bei dieſer Anſicht die ſonſt ſo erhebende Einheit der Natur, weil ſich die Erde in einer einfachen krummen Linie ohne Epicykel bewegt, hingegen jeder Planet einen eigenen Epicykel fordert, bei Mars gar ein dritter Kreis mit dem Epicykel und dem excentriſchen Kreiſe angenommen werden müßte, endlich jede neue Entdeckung am Himmel eine neue Schwierigkeit mit ſich bringt.

47. Da nun die Erde nicht der Mittelpunct der Bewegung der Planeten ſeyn kann, ſo handelt es ſich darum, einen Punct zu finden, von dem die Planetenbahnen angeſehen werden müſſen, um ſo einfach zu erſcheinen, als es dem Charakter der bereits bekannten, immer ſehr einfachen Geſetze der Natur gemäß iſt. Ein ſolcher Ort iſt die Sonne. Um dieſes einzuſehen, muß man Mittel kennen, aus dem Orte, wo ein Planet, vom Mittelpuncte der Erde geſehen, erſcheint und der *geocentriſche* Ort heißt, jenen zu beſtimmen, wo er vom Mittelpuncte der Sonne aus erſcheinen würde, welchen die Aſtronomen den *heliocentriſchen* Ort nennen. Die einfachſte Methode bieten uns für obere Planeten ihre Oppoſitionen und Conjunctionen dar, weil da ihr geocentriſcher Ort mit dem heliocentriſchen zuſammenfällt. Zwei auf einander folgende Oppoſitionen eines Planeten geben zwei heliocentriſche Oerter deſſelben, und mithin ſeine Bewegung zwiſchen beiden Oppoſitionen, von der Sonne aus geſehen. So überzeugt man ſich, daß die Bewegung dieſer Planeten von der Sonne aus geſehen, ſo wie die der Erde um die Sonne, regelmäßig vor ſich gehe, daß z. B. Jupiter von einer Oppoſition zur anderen einen Bogen von 13°—14° und Saturn einen Bogen von 35°—37° um die Sonne zurücklege, und daß dieſe Bewegung ſtets nach derſelben Richtung erfolge. Von den unteren Planeten läßt es ſich ſchon daraus darthun, daß ihre Bahnen die Sonne, nicht aber die Erde einſchließen, weil ſie nie in Oppoſition kommen; aber noch deutlicher wird dieſes durch Beobachtung ihrer Lichtgeſtalten. Kehrt uns ein ſolcher Planet die ganze beleuchtete Scheibe zu, ſo muß ſich nothwendig die Sonne zwiſchen ihm und der Erde befinden, wie dieſes beim Monde im vollen Lichte der Fall iſt; ſteht er aber ſo, daß wir nichts von der beleuchtenden Seite bemerken, wie beim neuen Monde, ſo muß er ſich zwiſchen der Sonne und der Erde befinden. Man nennt jene Stellung die *obere*, dieſe die *untere* Conjunction der Planeten. Genaue Beobachtungen lehren aber, daß ein unterer Planet von der oberen Conjunction in die untere und von dieſer wieder in jene übergehe, mithin um die Sonne herumkomme, ohne jemals die Erde in ſeine Bahn aufzunehmen.

Für *Jupiter* und *Saturn* läßt ſich der Satz, daß ſie ſich um die Sonne bewegen, ſogar aus *Ptolomäus* Beſtimmungen beweiſen. Die Verfinſterungen der Trabanten Jupiters geben nämlich ein Mittel an die Hand, das Verhältniß ſeiner Entfernung von der Erde zu jener der Sonne von der Erde zu beſtimmen. Es ſey z. B. S (Fig. 387) der Ort der Sonne, T der Ort der Erde, A Jupiter, der einen coniſchen Schatten wirft. Iſt die Dauer der Finſterniß eines ſeiner Trabanten

genau beſtimmt, ſo befindet ſich der Trabant im Augenblicke des Mittels dieſer Dauer in Oppoſition mit Jupiter, und ſein Ort, vom Mittelpuncte Jupiters aus geſehen, fällt mit dem zuſammen, wo Jupiter vom Mittelpuncte der Sonne aus erſcheint. Da man erſteren aus den bekannten Bewegungen Jupiters und des Trabanten berechnen kann, ſo iſt dadurch für dieſen Augenblick auch der heliocentriſche Ort Jupiters gegeben. Da auch deſſen geocentriſcher Ort und der Ort der Sonne für dieſen Augenblick bekannt iſt, ſo hat man im Dreiecke SAT die Winkel SAT, STA, mithin auch TSA, und aus anderen Angaben die Größe der Seite TS, mithin auch SA und TA. Es ſind alſo aus jeder Verfinſterung eines Jupitertrabanten die Elemente des Dreieckes AST und mithin der Ort Jupiters gegen den der Erde und der Sonne bekannt. Verbindet man viele ſo gefundene Oerter Jupiters mit einander, ſo zeigt die Verbindungslinie die Bahn dieſes Planeten, aus der man abnimmt, daß er ſich um die Sonne bewege. Auf ähnliche Weiſe beſtimmt man aus dem Verſchwinden und Wiedererſcheinen des Saturnringes ſeine Entfernung von der Erde, die $9^1/_4$mal größer iſt, als die der Sonne von der Erde. Dieſes Verhältniß gibt aber Ptolomäus ſelbſt für das des Halbmeſſers der Saturnbahn zum Halbmeſſer ſeines Epicykels an, und daher iſt dieſer Epicykel die Erdbahn.

48. In welcher Ordnung ſich die Planeten um die Sonne bewegen, lehren folgende Betrachtungen: Venus und Merkur zeigen durch ihre geringen Digreſſionen von der Sonne, daß ſie letzterer näher ſtehen als die Erde, während die übrigen Planeten von ihr weiter entfernt ſind, und bei ihrer Conjunction nicht wie jene vor, ſondern hinter der Sonnenſcheibe vorbeigehen. Von beiden ſteht aber wieder Merkur der Sonne näher, als Venus, weil er eine geringere Digreſſion hat und Venus manchmal bedeckt, wie z. B. im Mai 1737 geſchah. Die übrigen Planeten folgen in der Ordnung: Mars, Jupiter, Saturn und Uranus; denn die Aenderung des ſcheinbaren Durchmeſſers von der Conjunction zur Oppoſition iſt bei Mars größer als bei Jupiter, bei dieſem größer als bei Saturn, bei dieſem bedeutender als bei Uranus; daher muß auch die Entfernung der Sonne von der Erde gegen ihre Entfernung vom Mars größer ſeyn, als gegen die vom Jupiter u. ſ. f., oder, was daſſelbe iſt, es muß obige Ordnung Statt finden. Die neu entdeckten Planeten: Ceres, Pallas, Juno und Veſta haben ihre Bahnen zwiſchen denen des Mars und Jupiter. Der Erde iſt ihr Platz zwiſchen Venus und Mars angewieſen.

49. Durch dieſe Unterſuchungen iſt nur die Folge der Planeten, und daß ihre Bahnen die Sonne in ſich ſchließen, dargethan; wie aber dieſe Bahnen beſchaffen ſind, und nach welchem Geſetze ſich in ihnen die Planeten bewegen, iſt dadurch nicht ausgemacht. Die Beſtimmung dieſer Puncte verdanken wir Kepler, einem der größten Männer aller Zeiten, der es ſich zur Aufgabe ſeines Lebens gemacht hatte, die Geſetze der Planetenbewegungen aufzudecken. Ptolomäus ging von dem Grundſatze aus, daß ſich die Planeten in kreisförmigen Bahnen mit unveränderlicher Geſchwindigkeit um die Erde bewegen, und daß letztere ſich außerhalb des Mittelpunctes dieſes Kreiſes befinde, ſo daß die Bewegung jedes Planeten, von der Erde aus geſehen, ſcheinbaren Un-

gleichheiten unterliegen müſſe, welche deſto größer ſind, je bedeutender die Excentricität ſeines Kreiſes iſt. Copernicus wich nur darin vom Vorigen ab, daß er die Planeten um die Sonne laufen ließ, er behielt aber die Hypotheſe des excentriſchen Kreiſes bei. Kepler hingegen unterwarf alle Puncte der Planetenbewegungen einer ſtrengen Prüfung, zeigte die Unzulänglichkeit der Hypotheſe des excentriſchen Kreiſes und der gleichförmigen Bewegung, und fand: 1) Daß ſich alle Planeten in Ellipſen um die Sonne bewegen, und daß ſich letztere im gemeinſchaftlichen Brennpuncte aller dieſer Ellipſen befinde. 2) Daß die in gewiſſen Zeiten beſchriebenen Sectoren den Zeiten proportionirt ſeyen. 3) Daß die Quadrate der Umlaufszeiten mit den Würfeln der Entfernungen im geraden Verhältniſſe ſtehen. Durch dieſe Geſetze iſt alles beſtimmt, was auf die Bewegung der Planeten Bezug hat; man kann bei einem Planeten aus ſeiner Umlaufszeit auf ſeine Entfernung von der Sonne und umgekehrt aus dieſer Entfernung auf ſeine Umlaufszeit ſchließen. Dieſes iſt beſonders wichtig für die Beſtimmungen neuer Planeten. Als Uranus ungefähr ein Jahr entdeckt war, kannte man ſchon aus zwei Oppoſitionen den Bogen, den er in der Zwiſchenzeit zurückgelegt hatte, und mithin die Zeit, in welcher er in mittlerer Bewegung einen Umlauf um die Sonne macht. Aus der bekannten Umlaufszeit ließ ſich hierauf mittelſt des dritten Kepler'ſchen Geſetzes ſeine Entfernung von der Erde berechnen. Die Planetenbahnen liegen nicht in derſelben Ebene, ſie ſchneiden die Erdbahn unter Winkeln, wovon der größte (für Ceres) über 34°, der nächſtfolgende (für Juno) aber ſchon nur 13° beträgt. Die Durchſchnittspuncte einer Planetenbahn mit der Ekliptik heißen Knoten, und zwar einer der aufſteigende, der andere der abſteigende. Die Excentricitäten der Planetenbahnen ſind verſchieden; die größte Excentricität hat die Bahn der Juno, die kleinſte jene der Venus. Auch ihre Umlaufszeiten ſind ungleich und werden, dem dritten Kepler'ſchen Geſetze gemäß, deſto größer, je weiter der Planet von der Sonne abſteht.

50. Die Ordnung der Planeten, wie ſie erwieſen wurde, begreift man gewöhnlich unter dem Namen des Copernicaniſchen Syſtems, und unterſcheidet es von dem Ptolomäiſchen, nach welchem ſich alle Planeten, ſo wie die Sonne, um die Erde bewegen nach der Ordnung: Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter, Saturn, und vom Tychoniſchen, in welchem zwar die Planeten um die Sonne gehen, aber dieſe ſammt ihrem Gefolge um die Erde, ſo daß die Halbmeſſer der Merkur- und Venusbahn kleiner, die der übrigen Planetenbahnen größer ſind, als der Halbmeſſer der Sonnenbahn.

Siebentes Kapitel.

Bewegung der Nebenplaneten und Finſterniſſe.

51. Unter den Nebenplaneten iſt der **Mond** für einen Erdbewohner bei weitem der wichtigſte; darum ſoll er auch zuerſt betrachtet werden. Von der Bewegung des Mondes überzeugt man ſich durch dasſelbe Mittel, wodurch man die ſcheinbare Bewegung jedes anderen Himmelskörpers kennen lernt, nämlich durch Vergleichung ſeines ſcheinbaren Ortes mit dem eines Fixſternes. Auch dieſe erfolgt von Weſt gegen Oſt, in einer Bahn, deren Ebene durch die Erde geht und gegen die Ekliptik geneigt iſt. Die Bahn ſelbſt iſt elliptiſch und in einem Brennpuncte dieſer Ellipſe befindet ſich die Erde ſo, daß ſich der Mond eben ſo um die Erde bewegt, wie die Erde um die Sonne. Es laſſen ſich auf ihn alle Kepler'ſchen Geſetze anwenden, und die Elemente ſeiner Bahn ſind ähnlichen, ja noch mehreren und größeren Veränderungen unterworfen, als die Elemente der Erdbahn und der übrigen Planeten. So rücken die Knoten der Mondesbahn täglich um 3′ 10″,8 von Oſt nach Weſt fort, und machen daher in 19 Jahren einen Umlauf; der Punct ſeiner Erdnähe bewegt ſich hingegen täglich um 6′ 40″,9 von Weſt nach Oſt, und kommt daher in ungefähr 9 Jahren einmal herum; die Neigung ſeiner Bahn gegen die Ekliptik ändert ſich von 5° 18′ bis 5° 0′ 13″. Auch die Bewegung des Mondes weicht von der rein elliptiſchen Bewegung oft ſtark ab, und iſt überhaupt ſehr vielen Veränderungen unterworfen, deren einige groß ſind und leicht bemerkt werden können, während ſich andere nur erſt bei ungemein ſcharfen und ſehr oft wiederholten Beobachtungen zeigen.

52. Die Zeit von einer Conjunction eines Fixſternes mit dem Monde bis zur nächſtfolgenden heißt **ſideriſche Umlaufszeit**, **ſideriſcher Mondenmonat**. Von dieſer iſt die **periodiſche** Umlaufszeit, d. i. die Zeit, in welcher der Mond ſeine Länge um 360° ändert, um ſo viel verſchieden, als er braucht, den Bogen zu durchlaufen, um welchen die Aequinoctialpuncte in einem Monate zurückgehen. Die Zeit von einer Conjunction des Mondes mit der Sonne bis zur nächſtfolgenden heißt **ſynodiſche** Umlaufszeit. Sie iſt wegen der eigenen Bewegung der Erde länger als die ſideriſche. Wegen der Aenderung der Abſidenlinie und der Knotenlinie des Mondes muß auch die Zeit der Zurückkunft zur Erdnähe (der **anomaliſtiſche** Monat) und die, nach welcher er wieder zu dem Knoten kommt (der **Drachenmonat**), von der ſideriſchen Umlaufszeit verſchieden ſeyn.

53. Unter allen dieſen iſt der ſynodiſche Monat für das gemeine Leben am merkwürdigſten, weil er mit den Lichtgeſtalten (Phaſen) des Mondes in Verbindung ſteht. Der Mond zeigt uns nämlich die ganze Scheibe beleuchtet oder es iſt **Vollmond**, wenn er mit der Sonne in Oppoſition iſt. So wie er ſich von da entfernt, nimmt der beleuchtete Theil ab, es iſt **abnehmender Mond**, und beträgt zur Zeit der Quadratur nur noch die Hälfte der ganzen Scheibe. Ueber die Quadratur hinaus wird der beleuchtete Theil noch kleiner, bis zur Zeit der

Conjunction die ganze Scheibe dunkel und daher Neumond iſt. Von da nimmt die Größe des beleuchtenden Theiles wieder zu, wie ſie vorhin abgenommen hat. Dieſes alles zuſammengenommen, zeigt deutlich, daß die Lichtabwechslungen davon herkommen, daß der Mond uns manchmal die ganze von der Sonne beleuchtete Scheibe, manchmal nur einen Theil derſelben, manchmal die unbeleuchtete Seite zukehre, wie man aus Fig. 388 abnehmen kann, wo T die Erde, S die Sonne, L den Mond bedeutet, und der nicht beleuchtete Theil des Mondes durch die Schattirung vom beleuchteten geſchieden iſt.

54. Die Trabanten der übrigen Planeten bewegen ſich um ihre Hauptplaneten auf ähnliche Weiſe und nach denſelben Geſetzen, wie ſich der Mond um die Erde bewegt. Auch von der Erde aus geſehen, erſcheinen dieſe Bewegungen ſehr einfach. Befindet ſich der Trabant in einem ſeiner Knoten, ſo ſcheint er um den Planeten zu oſcilliren, er entfernt ſich von ihm, nähert ſich ihm wieder, entfernt ſich nach der entgegengeſetzten Seite und kehrt wieder zurück. Befindet er ſich aber außer dem Knoten, ſo erſcheint uns ſeine Bahn als eine mehr oder weniger excentriſche Ellipſe. Den Bewegungen der Trabanten ähnlich iſt die des Ringes, welcher den Saturn umgibt.

55. Bei der Oppoſition oder Conjunction des Mondes ereignen ſich manchmal jene merkwürdigen Erſcheinungen, die man Sonnen- und Mondesfinſterniſſe nennt. Eine Mondesfinſterniß iſt die Folge des Eintrittes des Mondes in den Erdſchatten; ſie ereignet ſich daher nur zur Zeit des Vollmondes und beginnt damit, daß ſich die beleuchtete Mondesſcheibe am öſtlichen Rande zu verdunkeln anfängt. Nach und nach rückt dieſe Verdunklung immer weiter, verbreitet ſich bei ſogenannten totalen Finſterniſſen über den ganzen Mond, bei partialen nur über ein größeres oder kleineres Stück desſelben, das man nach ekliptiſchen Zollen angibt, wovon jeder $\frac{1}{12}$ des ſcheinbaren Mondesdurchmeſſers beträgt. Fig. 389 ſtellt die Erde E mit ihrem Schatten und ein Stück a b der Mondbahn vor. Läge die Mondesbahn ganz in der Ekliptik, ſo müßte bei jedem Vollmonde eine Mondesfinſterniß Statt finden; allein wegen der Neigung der Mondesbahn gegen die Ekliptik ereignet ſich eine ſolche nur dann, wenn der Vollmond zu einer Zeit eintritt, wo ſich der Mond in der Nähe der Knoten befindet und ſeine Breite geringer iſt, als die Summe aus dem Halbmeſſer des Mondes und dem des Erdſchattens da, wo der Mond ihn ſchneidet. Wäre z. B. (Fig. 390) A E ein Stück der Mondesbahn, A L ein Stück der Ekliptik, a der Mittelpunct des Mondes im Augenblicke der Oppoſition, b der eines Durchſchnittes des Erdſchattens in der Entfernung des Mondes von der Erde, und die zu a und b gehörigen Kreiſe die Mondesſcheibe und der Durchſchnitt des Erdſchattens; ſo iſt leicht zu erſehen, daß nur dann ein Durchſchneiden beider Kreiſe Statt haben kann, wenn die Breite des Mondes a b kleiner iſt, als die Summe der Halbmeſſer beider Kreiſe. Sonnenfinſterniſſe entſtehen dadurch, daß der Mond zwiſchen die Sonne und die Erde zu ſtehen kommt, und finden daher nur im Neumonde Statt.

Dieſelbe Urſache, aus welcher ſich nicht bei jedem Vollmonde eine Mondesfinſterniß ereignet, macht auch, daß nicht bei jedem Neumonde eine Sonnenfinſterniß entſteht, ſondern nur dann, wenn die Breite des Mondes bei ſeiner Conjunction kleiner iſt, als die Summe des ſcheinbaren Sonnen- und Mondhalbmeſſers. In Fig. 391 iſt E die Erde, S die Sonne, M der Mond mit ſeinem Schatten. Sonnenfinſterniſſe ſind wie die Mondesfinſterniſſe, entweder total oder partial, wohl auch noch ringförmig. Wenn die gerade Linie, welche vom Auge des Beobachters nach dem Mittelpuncte der Sonne gezogen wird, nicht durch den Mittelpunct des Mondes geht, ſo iſt für dieſen Ort die Verfinſterung nur partial. Selbſt wenn erſteres Statt findet, wird nicht immer die ganze Scheibe verfinſtert erſcheinen, ſondern wenn der ſcheinbare Durchmeſſer des Mondes kleiner iſt, als jener der Sonne, ſo bleibt ein leuchtender Ring der Sonne unbedeckt und die Finſterniß iſt ringförmig. Uebrigens ſieht man leicht ein, daß auch die verſchiedene Entfernung der Sonne und des Mondes vom Mittelpuncte der Erde eben ſo wie die Breite des Mondes einen großen Einfluß auf die Größe der Verfinſterung haben müſſe, weil dadurch der ſcheinbare Durchmeſſer vergrößert oder verkleinert wird. Eine ähnliche Wirkung bringt auch die Höhe des Mondes über dem Horizonte eines Ortes hervor, woraus begreiflich wird, warum die Größe der Sonnenfinſterniſſe in verſchiedenen Orten der Erde verſchieden iſt, während doch Mondesfinſterniſſe allenthalben gleich groß erſcheinen.

Alles, was man in Betreff der Mondes- und Sonnenfinſterniſſe fragen kann, läßt ſich genau auf weit entfernte Zeiten durch Rechnung angeben, weil die Lage der Mondbahn gegen die Ekliptik, die Bewegung des Mondes und der Sonne, ihre Entfernung von der Erde und die Größe des Erdſchattens gegeben ſind. Auf dieſe Weiſe findet man, daß in 18 Jahren nur 70 Finſterniſſe erfolgen können, worunter 29 Mond- und 41 Sonnenfinſterniſſe ſind, daß jedes Jahr im Durchſchnitte vier Finſterniſſe hat, und daß die Finſterniſſe ungefähr nach 19 Jahren wieder in derſelben Ordnung zurückkehren. (Ausführliche Anleitung zur trigonometriſchen Berechnung der an einem gegebenen Orte ſichtbaren Sonnenfinſterniſſe von J. W. Müller Sulzbach 1815. Littrow's Darſtellung der Sonnenfinſterniſſe. Wien 1820.) — Aus der Bewegung des Mondes und der Sonne ergeben ſich beſondere Epochen, welche zur Beſtimmung hiſtoriſcher Ereigniſſe dienlich ſind. Der Zeitraum, nach welchem die Mondesphaſen, z. B. der Neumond, wieder auf denſelben Jahrestag fallen, heißt Mondeszirkel und beträgt 19 Jahre, weil 223 Mondesumläufe faſt genau in 19 Jahren geſchehen. Die Zahl, welche anzeigt, das wievielte ein gegebenes Jahr im Mondeszirkel ſey, heißt goldene Zahl. Sonnenzirkel und Mondeszirkel mit einander und mit einer dritten, nicht aſtronomiſchen Periode von 15 Jahren, welche Inductionszirkel oder Römerzinszahl heißt, multiplicirt, geben 7980 als die julianiſche Periode, nach welcher Sonntagsbuchſtabe, goldene Zahl und Zinszahl wieder auf denſelben Jahrestag fallen. Siehe hierüber: Anleitung zur Zeitkunde, herausgegeben von G. F. von Vega. Wien und Leipzig 1801.

56. Da die Planeten einen Schatten werfen, wie unſere Erde, ſo werden ihre Trabanten auch manchmal in denſelben eintreten und

verfinſtert werden. Solche Finſterniſſe ſind beſonders bei den Jupiters-trabanten häufig, und werden zum Behufe der irdiſchen Längenbeſtimmungen von den Aſtronomen fleißig beobachtet.

Achtes Kapitel.

Die Kometen und ihre Bewegung.

57. Die Kometen erſcheinen meiſt unerwartet und mit einem auffallenden Aeußeren. Sie bleiben nur kurze Zeit ſichtbar, nähern ſich dabei mit raſch zunehmender Geſchwindigkeit der Sonne immer mehr, ſo daß ſie ſich manchmal ganz in den Sonnenſtrahlen verbergen; hierauf entfernen ſie ſich wieder von ihr, ihre Geſchwindigkeit nimmt ab, bis ſie mit freiem Auge, und zuletzt auch mit Fernröhren unſichtbar werden. Sie beſtehen meiſtens aus einer trüben, veränderlichen Dunſtmaſſe, haben in dieſer einen Kern, der weder feſt noch gasförmig ſeyn kann, ſondern aus discreten Theilen beſtehen muß, weil er das Licht der Fixſterne ohne merkliche Schwächung und ohne Refraction durchläßt. Bei manchem Kometen iſt die Dunſtmaſſe rund, bei den meiſten aber dehnt ſie ſich in einer Richtung in Form eines Schweifes aus, welcher von der den Kern umgebenden Dunſthülle weſentlich verſchieden ſeyn ſoll; er iſt bald gerade, bald gekrümmt (Komet vom J. 1807 und 1812), bald ganz, bald in mehrere Büſchel getheilt, aber meiſtens von der Sonne abgewendet. Dieſen Schweif bekommen die Kometen wahrſcheinlich erſt, wenn ſie ſich der Sonne ſtark nähern, ja man hat ſogar Kometen bemerkt, die das erſte Mal einen Schweif hatten, bei ihrer Wiedererſcheinung aber keine Spur davon merken ließen. Ihr Licht iſt bald gelblich (K. vom J. 1618), bald röthlich, bald weiß (K. vom J. 1577), bald grünlich (K. vom J. 1811).

58. Die Kometen haben außer der täglichen Bewegung, die eine Folge der Axendrehung der Erde iſt, auch eine eigene. Die Richtung der letzteren iſt nicht, wie bei den Planeten, immer die von Weſt nach Oſt, und ihre Bahn iſt ſelten innerhalb des Thierkreiſes gelegen; ja bei einigen faſt auf der Erdbahn ſenkrecht (K. v. J. 1707). Man weiß nun mit Beſtimmtheit, daß die Kometen im Allgemeinen dieſelben Geſetze der Bewegung befolgen, wie die Planeten, daß ſie ſich wie dieſe um die Sonne bewegen, und ſogar auch in einer Kegelſchnittlinie. Allein die Beſchaffenheit dieſer Bahn weicht vorzüglich dadurch von der den Planeten eigenen ab, daß ſie, wenn ſie eine Ellipſe iſt, eine weit größere Excentricität hat, als die Planetenbahnen, daß ſie aber auch eine Hyperbel ſeyn kann. Von einigen Kometen iſt es erwieſen, daß ſie in Ellipſen um die Sonne gehen. Man kennt ihre Umlaufszeit und kann ihr Wiedererſcheinen vorausſagen. So war dieſes mit dem Kometen der Fall, der zuerſt im Jahre 1682 von Halley beobachtet und berechnet wurde, und mit einer kleinen Verſpätung wirklich erſchien. Er iſt ſeit dieſer Zeit ſchon mehrmal beobachtet worden. Man ſah ihn das

letzte Mal im Jahre 1835. In der neueſten Zeit berechnete Encke einen von Pons entdeckten Kometen, der nur eine Umlaufszeit von 1208 Tagen hat und nun ſchon öfter am berechneten Orte geſehen wurde.

59. Ueber die Natur der Kometen läßt ſich wenig mit Gewißheit ſagen. In älteren Zeiten hielt man ſie für bloße Lichterſcheinungen und für Vorboten großer Unglücksfälle; heut zu Tage iſt unſere Kenntniß derſelben ſo weit gediehen, daß man mit Beſtimmtheit weiß, ſie ſeyen gleich den Planeten außer unſerer Atmoſphäre befindliche Weltkörper, ohne jedoch über ihre weitere Beſtimmung und über das Verhältniß, in welchem ſie gegen die anderen Körper unſeres Sonnenſyſtems ſtehen, etwas Näheres ſagen zu können.

60. Daß die Kometen an Zahl die Planeten übertreffen, muß Jedem einleuchten, der weiß, daß faſt jährlich einer oder mehrere geſehen werden, die ſich von denen unterſcheiden, welche früher ſchon beobachtet wurden, und daher als neue Ankömmlinge betrachtet werden müſſen. Die früheren Zeiten waren auch nicht minder reich an Kometenerſcheinungen, wiewohl uns wenig davon berichtet wird; aber ſelbſt die mit der Aufmerkſamkeit der Aſtronomen in gleichem Verhältniſſe wachſende Anzahl ſolcher Erſcheinungen rechtfertiget ſchon dieſe Annahme. Man beobachtete bis zum J. 1790 kaum 80 Kometen, und von dieſen gehört die Hälfte dem letzten Jahrhunderte an; bis jetzt kennt man deren 400 — 500. Wie viele mögen noch heut zu Tage vorübergehen, ohne geſehen zu werden oder nur in ſüdlichen Gegenden ſichtbar ſeyn, wo ſie von keinem beobachtenden Auge bemerkt werden? Auch ſtimmt Alles mit der Annahme überein, daß ſich die Kometen nicht wie die Planeten in einer ſchmalen Zone bewegen, ſondern gleichförmig im Raume vertheilt ſind. Da nun bis jetzt beinahe 60 Kometen beobachtet wurden, welche der Sonne näher kamen als Venus, und deren gewiß eben ſo viele unbeobachtet vorübergegangen ſind, ferner im Durchſchnitte alle 500 Jahre dieſelben Kometen wieder ſichtbar werden, ſo mag der Raum zwiſchen der Sonne und der Venus wohl 600, mithin der zwiſchen der Sonne und der Bahn des Uranus wenigſtens 400,000 Kometen enthalten. Wie viel mehr mögen aber noch außerhalb der Bahn des Uranus liegen? Es machen daher die Kometen wirklich den größten Theil unſeres Sonnenſyſtems aus.

Neuntes Kapitel.

Nähere Betrachtung der Sonne und der Planeten.

61. Die Sonne galt in früheren Zeiten, beſonders bei den Anhängern der Ariſtoteliſchen Philoſophie, für das Vorbild aller Reinheit, bis im Anfange des 17ten Jahrhunderts entdeckt wurde, auch ſie habe Flecken. Spätere Beobachtungen haben dieſes beſtätigt und zur vollen Gewißheit erhoben. Häufig hat die ganze Oberfläche der Sonne gleich-

ſam ein marmorirtes, grieſiges Anſehen, und dann zeigen gute Fernröhre eine Menge feiner mattgrauer, über die ganze Oberfläche zerſtreuter Puncte. Dieſe fließen oft zuſammen und bilden jene grauen Stellen, welche man Hof oder Nebel nennt. Häufig ſchließen ſich daran ſchwärzere Flecken, erſcheinen aber in der Regel nur bis auf eine Entfernung von 25° zu beiden Seiten des Sonnenäquators. Einige dieſer Flecken haben keine beſtimmbaren Dimenſionen und erſcheinen als bloße Puncte, andere hingegen, die Kernflecken, haben merkliche Ausdehnungen. Letztere ſind häufig von Höfen umgeben und zwar von ſolchen, die eine dem Kernflecke ähnliche Figur haben. Dieſe Figur iſt meiſt ring-, oft ſtrahlenförmig, ſelten rund. Die Flecken erſcheinen oft einzeln, noch öfter aber in ganzen Gruppen, und nicht ſelten umfaßt ein einzelner Hof eine ganze Gruppe. Hof und Fleck ſind meiſtens ſcharf begrenzt und nur ſtellenweiſe verwaſchen. Schon die größeren Kernflecke ſind von lichteren Linien aderartig durchzogen, aber nahe am öſtlichen oder weſtlichen Sonnenrande erſcheinen nicht ſelten hellere Stellen als die übrige Sonnenoberfläche iſt, ähnlich den Runzeln eines welken Apfels. Man nennt ſie Sonnenfackeln. Sowohl die Flecken als die Fackeln ſind von verſchiedener Ausdehnung, die größeren Gruppen der Flecken nehmen oft $^1/_3$ oder $^1/_4$ des Sonnendurchmeſſers ein und erſtrecken ſich demnach auf 50—60 tauſend Meilen. Alle dieſe Phänomene unterliegen beſtändigen Veränderungen, ſie wachſen und nehmen ab, vereinigen und trennen ſich, ändern ihre Geſtalt und Größe fortwährend; die größeren Flecken entſtehen aber meiſtens durch Vereinigung mehrerer kleiner. Oft ſieht man die Sonne längere Zeit, ſelbſt mehrere Monate lang, ohne Flecken, nicht ſelten iſt die Zahl und Größe der zugleich vorhandenen ſehr bedeutend, doch nehmen ſie nie $\frac{1}{100}$ der ganzen leuchtenden Fläche der Sonne ein. Regelmäßig ſieht man ſie am öſtlichen Rande erſcheinen, auf der Sonnenfläche nach Weſt fortrücken, und am weſtlichen Rande wieder verſchwinden. Daraus hat man auf eine Axendrehung der Sonne von $25^1/_2$ Tag geſchloſſen. So wie ein Fleck dem Rande der Sonnenſcheibe näher kommt, erfährt er natürlich eine optiſche Verkürzung, allein man bemerkt bei den mit einem Hof umgebenen Kernflecken, daß der Kern nicht mehr im Mittel des Nebels ſteht, ſondern nach Oſt zurückbleibt, zum Beweiſe, daß ſich die ſchwarzen Kernſtellen auf einer kleineren Kugel bewegen als die Nebel. Daraus läßt ſich weiters ſchließen, daß die Sonnenflecken weder dunkle, um die Sonne drehende Körper, noch vom Sonnenkörper ausgeworfene Schlacken, noch ausgebrannte Stellen des Sonnenkörpers ſeyn können, wie einige vermuthet haben, ſondern, daß man annehmen müſſe, die Sonne ſey ein dunkler Körper, der von zwei Lichtſphären umgeben iſt, und die Flecken ſeyen ſolche Stellen, wo die Atmoſphären durchbrochen ſind und uns eine Stelle des dunklen Sonnenkörpers ſehen laſſen. Damit ſteht auch im Einklange, daß ſich das Sonnenlicht wie das eines gasförmigen Körpers in Bezug auf ſeinen Polariſationszuſtand verhalte, wie Arago bemerkt hat.

62. Wiewohl die ſcheinbare Größe der Sonne jener des Mondes beinahe gleich kommt, ſo iſt doch ihre wahre Größe der des Mondes weit überlegen. Aus ihrer Parallaxe, die nur nahe 8″,5 beträgt, folgt, daß ihre Entfernung von der Erde 21 Millionen Meilen betrage. Ihr ſcheinbarer Durchmeſſer hat 32′2″,9, und daher ihr wahrer 112,14 Erdhalbmeſſer, woraus folgt, daß ſie an Oberfläche die Erde 12598mal, an körperlichem Inhalte 1415225mal übertrifft.

63. Der bekannteſte der Planeten iſt ohne Zweifel **Venus**, nämlich jener Stern, den man gewöhnlich **Abendſtern** oder **Morgenſtern** nennt. Beobachtet man ihn, wenn er anfängt des Abends ſichtbar zu werden, ſo findet man, daß er ſich täglich mehr von der Sonne entfernt, bis ſeine Entfernung 48° beträgt, dann kehrt er wieder zu ihr zurück, und verſchwindet endlich ganz in den Sonnenſtrahlen. Bald darauf ſieht man Morgens einen ähnlichen Stern vor der Sonne aufgehen, ſich von ihr immer weiter, zuletzt bis 48° entfernen, hierauf eben ſo wieder zu ihr zurückkehren. Es iſt wohl kein Zweifel, daß dieſes derſelbe Stern, wie der vorhin erwähnte, ſey. Der ſcheinbare Durchmeſſer der Venus ändert ſich von 9″ bis 64″. Ihr wahrer Durchmeſſer beträgt 1717 Meilen, iſt alſo nahe gleich dem Durchmeſſer der Erde. Sie erſcheint ſehr hell glänzend, manchmal gar ſo, daß man ſie bei Tage ſieht. Mittelſt Fernröhren bemerkt man an ihr ähnliche Lichtphaſen wie beim Monde, zum Beweiſe, daß ſie, ſo wie dieſer, ein dunkler Körper iſt, der ſein Licht von der Sonne bekommt. Ueber die Umdrehungszeit der Venus um ihre Axe iſt man ungeachtet vielfältiger Bemühungen nicht ins Reine gekommen, am wahrſcheinlichſten iſt eine Umdrehungszeit von 24¼ St. Den Lauf um die Sonne vollendet Venus jedoch in 224 T. 16^h 49,7. Ihre mittlere Entfernung von der Sonne beträgt nahe 15 Millionen Meilen.

64. Der Planet **Merkur** zeigt ähnliche Bewegungen wie Venus, nur mit dem Unterſchiede, daß er ſich nur bis auf 28° von der Sonne entfernt. Wegen dieſer geringen Entfernung iſt er auch ſchwer zu ſehen. Sein ſcheinbarer Durchmeſſer wechſelt von 4″—11″,6; ſein wahrer Durchmeſſer beträgt 671 Meilen. Er hat Flecken auf ſeiner Oberfläche, aus deren Beobachtung man auf eine Axendrehung von nahe 24 St. geſchloſſen hat. Seine ſideriſche Umlaufszeit beträgt 87 T. 23^h 15′ 46″, ſeine mittlere Entfernung von der Sonne nahe 8 Millionen Meilen.

Venus oder Merkur ſieht man, nachdem ſie unſichtbar geworden ſind, manchmal wie ſchwarze Scheibchen durch die Sonnenſcheibe gehen, und ſo gleichſam eine Sonnenfinſterniß verurſachen. Dieſes Ereigniß iſt für den Aſtronomen von großer Wichtigkeit, weil es ihm Mittel verſchafft, die Sonnenparallaxe kennen zu lernen. (Merkwürdigkeiten von dem Durchgange der Venus durch die Sonnenſcheibe von **Kohl**. Greifswalde 1768.)

65. **Mars** hat ein feuerrothes Licht und eine ſehr ungleiche Bewegung. Sein Durchmeſſer wächſt von 3″,3—23″,21″. Sein wahrer Durchmeſſer hält 892 Meilen. Er vollendet eine Axendrehung in 24^h 39′

und einen ſideriſchen Umlauf in 1 Jahr 221 T. $23^1/_2$ St.; ſeine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt nahe 32 Millionen Meilen. In der Erdnähe zeigt ein gutes Fernrohr auf dieſem Planeten Flecke verſchiedener Art, unter anderen zwei weiße, ſehr ſtark glänzende, ſehr nahe an ſeinen Polen, die abwechſelnd wachſen und kleiner werden, je nachdem es daſelbſt Winter und Sommer iſt und etwas unſerm Eis ähnliches zu ſeyn ſcheinen. Man hat Grund auch eine Marsatmoſphäre anzunehmen.

66. Jupiter iſt nach der Venus der glänzendſte Planet. Sein ſcheinbarer Durchmeſſer beträgt 40″—49″: ſein wahrer Aequatordurchmeſſer beträgt 20018, ſein Polardurchmeſſer 18524 Meilen. Er dreht ſich in 9^h 55′ 26″,56 um ſeine Axe und in 11 J. 314 T. 20^h 2′ 7″ um die Sonne, von der er im Mittel 107 Mill. Meilen abſteht. Auf dem gelblichen Grunde dieſes Planeten bemerkt man graue Streifen, wovon zwei beſonders groß und mit dem Aequator parallel ſind. Die weiter nach N und S abſtehenden ſind minder ſcharf begrenzt, matter und kleiner. Sowohl dieſe als die Hauptſtreifen unterliegen ſtarken Veränderungen, und ſie ſind wahrſcheinlich Wolken, die in der dichten Atmoſphäre dieſes Planetens minder ſchnell wechſeln als bei uns.

67. Saturn erſcheint mit etwas blaſſerem Lichte als ein Fixſtern der erſten Größe, unter einem Durchmeſſer von 15″—21″; ſein wahrer Durchmeſſer beträgt 17258 Meilen. Er erſcheint noch mehr abgeplattet als Jupiter. Seine Rotationszeit iſt 10^h 29′ 17″, ſeine ſideriſche Umlaufszeit 29 J. 166 T. 23^h 16′ 32″, ſein mittlerer Abſtand von der Sonne $197^1/_4$ Millionen Meilen. Seinen Aequator bezeichnet ein grauer Streif, ähnlich dem auf Jupiter bemerkten. Die merkwürdigſte Eigenſchaft dieſes Planeten ſind die ziemlich breiten und verhältnißmäßig ſehr dünnen Ringe, welche ihn in der Ebene ſeines Aequators umgeben. Der äußere Durchmeſſer des äußeren Ringes beträgt nach Beſſel 37587, der innerſte 25492 M., mithin die geſammte Breite aller Ringe mit Inbegriff ihrer gegenſeitigen Abſtände 6047 M. Von der Oberfläche des Planeten ſtehet der innerſte Ring 4594 M. ab. Nach Herſchel liegen nicht alle dieſe Ringe in derſelben Ebene, ſondern ſind etwas gegen einander geneigt, ſie haben Ungleichheiten und Verbiegungen. Ihr Centrum fällt nicht genau mit dem Saturns zuſammen. Dieſe Ringe rotiren ſelbſt um den Planeten. Man ſieht ſie der großen Dicke wegen nur, wenn man ſich weit außer ihrer Ebene befindet.

68. Uranus erſcheint durch Fernröhre mit einem Durchmeſſer von 3″,5—4″,3 und einer merklich abgeplatteten Scheibe; ſein wahrer Durchmeſſer beträgt 7466 Meilen, ſein ſideriſcher Umlauf 84 J. 5 T. 19^h 41′,36″.

69. Die Planeten Ceres, Pallas, Juno, Veſta erſcheinen von ſehr geringem Durchmeſſer. Der kleinſte von ihnen iſt Veſta; ſein Durchmeſſer beträgt nur 58 Meilen; alle vier aber haben nach Schröter ein ſehr helles blendendes Licht, und ſind vielleicht ſelbſt leuchtende Körper. Sie müſſen gewaltige Atmoſphären haben, weil

ſie oft, beſonders Ceres, von einer Art Nebel eingehüllt erſcheinen, oft aber mit ganz reinem Lichte ſtrahlen.

70. Unter den Nebenplaneten kennen wir natürlich keinen ſo genau, wie den treuen Begleiter unſerer Erde, den Mond. An ſeiner Oberfläche bemerkt man ſchon mit freiem Auge ungleichartige helle und dunkle Flecken, mit Fernröhren aber blendend weiße, tief ſtahlgraue und grünlichgraue Stellen mit unzähligen Abſtufungen der Farbe. Sie erſcheinen anders bei voller Beleuchtung der Mondesſcheibe, als wenn nur ein Theil derſelben Licht bekommt, aber man muß ſie unter den verſchiedenſten Beleuchtungsverhältniſſen beobachten, um über ihre Natur nicht zu gewagte Schlüſſe zu ziehen. Die helleren Partien ſind meiſtens, aber nicht immer, gebirgig, die dunkleren verhältmäßig eben, die einzelnen glänzenden Puncte in der Regel ſchroff abſteigende Vertiefungen. Hie und da erkennt man am Monde Gebirgszüge wie ſie auf unſerer Erde vorkommen, doch laufen dieſe nicht wie die irdiſchen Gebirge in verſchiedenen Aeſten aus, ſondern erfüllen meiſtens ein großes Terrain. Iſolirt ſtehende Berge und Hügelgruppen kommen aber ſehr häufig vor. In den grauen, nicht ebenen Landſchaften beobachtet man ſogenannte Bergadern, die meiſt gerade fortziehen und Anfang und Ende in Ebenen haben. Sie ſind ſelten heller als ihre Umgebung und daher bei mäßig hoher Beleuchtung nicht mehr ſichtbar. Ganz verſchieden von den Gebirgsbildungen auf der Erde ſind die auf dem Monde häufig vorkommenden Ringgebirge. Sie bilden kreisförmige Wälle, die concav abfallende Tiefen rings umgeben und ſich beſonders durch ihre Größe von einander unterſcheiden. Die kleinſten Bildungen dieſer Art heißt man Krater oder Gruben, die größten, eine ebene Fläche einſchließenden Wallebenen. Die Ringgebirge kommen meiſtens nur in dem helleren Theile des Mondes vor, und finden ſich in ihrer größten Ausbildung und Häufigkeit im ſüdlichen und ſüdweſtlichen Theile. Ihre innere Fläche iſt ſelten ganz eben, ſondern es kommen darin entweder iſolirte Bergkegel oder Hügelgruppen, wohl auch ſchmale aderartige Höhenzüge, kraterartige Vertiefungen und blaſenartig aufgetriebene Stellen vor. Nur ſelten ſind die da bemerkbaren lichteren Züge Erhöhungen. Die kleineren eigentlichen Ringgebirge finden ſich auf dem Monde in großer Anzahl und oft dicht zuſammengedrängt, ſie haben meiſtens rund herum dieſelbe Höhe und häufig nach innen und außen ein terraſſenartiges Abfallen. Innerhalb des Walls ſteht oft ein Centralberg, ſelten eine Hügelgruppe. Der Centralberg nimmt, wo er vorkommt, faſt immer die Mitte des Walls ein, erhebt ſich nie zur Höhe des Walls, ja bleibt meiſt unter der halben Wallhöhe zurück. Die höchſten Centralberge haben nur eine Höhe von 4—5000 Fuß, während die Wallhöhe 12—16000 F. beträgt. Eine ſehr merkwürdige Bildung im Mond ſind die ſogenannten Rillen, nämlich ſchmale, tiefe Furchen, die meiſt gerade oder nur ſanft gebogen durch Ebenen und Gebirgsgegenden hinſtreichen. Sie erſcheinen im Vollmonde als glänzende Lichtlinien, bei ſchiefer Beleuchtung als ſchwarze Fäden; manche haben ſtellenweiſe

Erweiterungen, als gingen ſie durch Krater, verzweigen und durchſchneiden ſich, durchſetzen hohe, ſteile Berge, ohne ihre Breite zu ändern. Man hat ſie, wiewohl gegen alle Wahrſcheinlichkeit, bald für Flüſſe, bald für Canäle oder Landſtraßen gehalten. Man hat gar keinen Grund, auf der Mondoberfläche etwas unſeren Waſſerſammlungen ähnliches anzunehmen, und ſelbſt die Vorausſetzung einer Mondatmoſphäre geſchah mehr aus Sympathie für die etwa vorhandenen Mondbewohner, als weil Beobachtungen dazu nöthigten.

71. Die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde beträgt 51803 Meilen, ſeine ſideriſche Umlaufszeit 27 T. 7^h 43′ 11″.5, die tropiſche 27 T. 7^h 43′ 4″.7, die ſynodiſche aber, nach welcher dieſelben Phaſen wiederkehren, 29 T. 12^h 44′ 2″.9. Der Mondesdurchmeſſer erſcheint bei mittlerer Entfernung unter 31′ 3″.38, und beträgt 0,27234 Erddurchmeſſer oder 468 Meilen. Der Mond hat alſo eine 13.7mal kleinere Oberfläche und ein 49.6mal kleineres Volum als die Erde. Er muß ſich in derſelben Zeit, in welcher er ſynodiſch um die Erde geht, um ſeine Axe drehen, denn ſonſt könnte er uns nicht immer dieſelbe Seite zuwenden. (Ueber den Mond ſiehe: Allgemeine vergleichende Selenographie. Berlin 1837.)

72. Die phyſiſche Beſchaffenheit der übrigen Nebenplaneten iſt uns völlig unbekannt. Weil ſie bei ihrer ungemein großen Entfernung doch nur ſehr klein ſind, ſo zeigen ſie ſelbſt durch die beſten Fernröhre keine begrenzten Flecken, und man kann auf das Daſeyn von Unebenheiten auf denſelben nur aus der veränderlichen Stärke ihres Lichtes ſchließen. Am Saturnringe allein erkennt man, wenn er eine günſtige Lage hat, durch gute Fernröhre mehrere helle und dunkle Stellen, die auf bedeutende Unebenheiten ſchließen laſſen.

Zehntes Kapitel.

Urſache der Planetenbewegungen.

73. Die große Uebereinſtimmung in der Bewegung aller Körper des Sonnenſyſtems läßt ſchließen, daß ſie alle durch Kräfte hervorgebracht werden, die nach denſelben Geſetzen wirken; ja man kann ſchon deßhalb die Vermuthung wagen, daß es nur eine einzige Kraft ſey, deren Wirkſamkeit durch die Entfernung der Planeten modificirt wird. Zur vollen Gewißheit wird dieſe Vermuthung erſt, wenn man die Erſcheinungen der Planetenbewegung nach mathematiſchen Principien beurtheilt. Da die Planeten krumme Bahnen beſchreiben, ſo muß durch ihre Bewegung ein Beſtreben entſtehen, ſich vom Mittelpuncte der Bahn zu entfernen; weil dieſes aber nicht geſchieht, ſo muß auch eine andere Kraft da ſeyn, welche der Fliehkraft entgegen wirkt und ihre Wirkung aufhebt. Weil die Planeten ſich ſo bewegen, daß die um die Sonne beſchriebenen Sectoren den Zeiten, in welchen ſie beſchrieben werden, proportionirt ſind; ſo muß ihre Bewegung eine Cen-

tralbewegung ſeyn, und die Centripetalkraft muß in der Sonne ihren Sitz haben. Weil die Bahnen der Planeten Ellipſen ſind, in deren einem Focus ſich die Sonne befindet, ſo muß, wie man ſtreng beweiſen kann, die Centripetalkraft abnehmen, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt. Weil die Quadrate der Umlaufszeiten den Würfeln der halben großen Axen der Planetenbahnen proportionirt ſind, ſo iſt die Centripetalkraft der Sonne für alle Planeten von derſelben Natur und wird bloß durch die Entfernung modificirt. Ja dieſe Kraft muß ſich auf jedes materielle Theilchen eines Planeten erſtrecken, weil ſonſt der Erfolg der Centripetalkraft auch von der Maſſe der Planeten abhängen müßte, und das gerade genannte Kepler'ſche Geſetz nicht Statt finden könnte. Dieſes alles zuſammengenommen zeigt, daß alle Planeten in ihren Bahnen durch eine Anziehungskraft erhalten werden, welche in der Sonne ihren Sitz hat, auf alle materielle Theile mit gleicher Stärke wirkt, und ſo abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächſt.

74. Da ſich die Nebenplaneten nach denſelben Geſetzen um die Hauptplaneten bewegen, wie dieſe um die Sonne, indem ſie um ihre Hauptplaneten Ellipſen beſchreiben, den Zeiten proportionirte Sectoren zurücklegen, und, wo deren mehrere einen Hauptplaneten begleiten, wie bei Jupiter, Saturn und Uranus, auch die Quadrate der Umlaufszeiten den Würfeln der Entfernungen proportionirt ſind; ſo muß auch von den Hauptplaneten eine Kraft ausgehen, welche dieſelben Geſetze befolgt, wie die Centralkraft der Sonne. Wiewohl dieſe Schlüſſe nur für Planeten gelten, welche Trabanten haben, ſo läßt ſich ſchon der Analogie nach ſchließen, daß auch die trabantenloſen Planeten von dieſem Geſetze keine Ausnahme machen werden, ja die runde Geſtalt derſelben iſt allein ſchon hinreichend, uns davon zu überzeugen, indem dieſe nur bei einem Beſtreben aller materiellen Theile nach einem gemeinſchaftlichen Mittelpuncte Statt finden kann.

75. Da nun die Intenſität der Centripetalkraft der Sonne und der Hauptplaneten ganz allein von der Entfernung abhängt, ſo muß ſich die Anziehung, welche in der Sonne ihren Sitz hat, nicht bloß auf die Planeten, ſondern auch auf ihre Trabanten und auf die Kometen erſtrecken, und die Anziehung der Hauptplaneten muß auch bis zur Sonne reichen, ſo daß man ſagen kann, dieſe Anziehung iſt wechſelſeitig, jeder Körper zieht alle andern an, jeder wird von allen andern angezogen, und die Anziehung iſt eine allgemeine Eigenſchaft der Materie, muß daher mit der Menge derſelben zunehmen. Der allgemeinſte Ausdruck des Anziehungsgeſetzes iſt alſo $p \cdot \frac{Mm}{D^2}$, wo M, m die einander anziehenden Maſſen ſind, D die Entfernung, in welcher ſie ſtehen, und p die Anziehung zweier Maſſen, deren jede $= 1$ iſt, in der Entfernung $= 1$ bedeutet, ſo wie in I. 132, als Lehnſatz angenommen wurde.

76. Die Leichtigkeit, mit der man aus dieſem Geſetze die Phänomene der irdiſchen Schwere erklärt, läßt ſchon vermuthen, daß dieſe

Anziehung der Himmelskörper mit der irdiſchen Schwere einerlei ſey. Der Umſtand, daß dieſes Geſetz die Wirkung eines Körpers von ſeiner Maſſe abhängig macht, bringt dieſe Vermuthung faſt zur Gewißheit, aber unwiderleglich thut es folgende Betrachtung dar: Da ſich der Mond faſt in einem Kreiſe um die Erde bewegt, ſo gibt der Querſinus des beſchriebenen Bogens die Größe des Weges an, um den er ſich in einer Zeiteinheit durch Wirkung der Centripetalkraft der Erde nähern würde, wenn er nicht durch die Tangentialkraft ſeitwärts abgelenkt würde. Dieſer Querſinus läßt ſich aus der Beobachtung des in einer Zeiteinheit zurückgelegten Bogens finden. Sucht man aber den Weg, um den ſich der Mond in einer Zeiteinheit der Erde nähert, wenn die irdiſche Schwere ſich bis zu ihm erſtreckt, nach der Vorausſetzung, daß ſie abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung wächſt; ſo findet man mit den nöthigen Correctionen genau dieſelben Reſultate, wie durch das vorige Verfahren, zum Beweiſe, daß die Centripetalkraft der Erde, die den Mond erhält, eigentlich die Schwere der Erde ſey. Man kann daher wohl allgemein die der Materie eigene Anziehung Gravitation nennen, und an ihr das unſichtbare Band erkennen, welches die Körperwelt zuſammenhält, welches den wohlthätigen Lauf der Himmelskörper und den unbeachteten Fall eines Stäubchens nach denſelben Geſetzen regiert.

77. Eine nothwendige Folge dieſes Geſetzes iſt, daß ſich nicht bloß die Planeten um die Sonne bewegen, ſondern daß ſich das ganze Planetenſyſtem ſammt der Sonne um einen gemeinſchaftlichen Mittelpunct (Centrum der anziehenden Kräfte) dreht, der aber noch innerhalb des Sonnenkörpers liegt, weil die Sonne alle Planeten zuſammengenommen an Maſſe weit übertrifft; die Sonne hat daher nur wegen ihrer größeren Maſſe, nicht aber wegen einer phyſikaliſchen Eigenſchaft, die Macht, die Planeten um ſich herumzuführen. Könnte die Maſſe irgend eines Planeten ſo ſehr vermehrt werden, daß ſie die der Sonne und der übrigen Planeten überträfe, ſo würde dieſer die Sonne ihrer Würde entſetzen, und ſie mit den übrigen Planeten um ſich herumführen. Ja gibt es unter dem Heere der Sterne einen, deſſen Maſſe die Summe der Maſſen der Sonne und der Planeten übertrifft; ſo muß das ganze Planetenſyſtem ſammt der Sonne auf ähnliche Weiſe um ihn herumgehen, wie ſich z. B. Jupiter ſammt ſeinen vier Trabanten um die Sonne bewegt.

78. Eine andere Folge des allgemeinen Gravitationsgeſetzes iſt, daß die Planeten ſelbſt auf einander einwirken und ſich in ihren rein elliptiſchen Bewegungen ſtören; ja ſelbſt die Sonne muß einige Schwankungen erleiden, die aber wegen der geringen Maſſe der Planeten gegen die der Sonne ſehr unbedeutend ſind. Genaue und lang genug fortgeſetzte Beobachtungen zeigen dieſe Störungen, welche die Aſtronomen Perturbationen nennen, genau ſo, wie ſie die nach dem Geſetze der Gravitation gemachten Rechnungen angeben; ſie lehren, daß die Planeten nach ihrer verſchiedenen Lage gegen einander auch verſchieden auf einander einwirken, bald rückwärts, bald vorwärts, bald

zur Sonne hin, bald von ihr weggezogen werden, und daß ihre Geſchwindigkeit dadurch bald vermehrt, bald vermindert wird. Dadurch weicht der Ort, den ein Planet in ſeiner Bahn wirklich einnimmt, von dem ab, welchen er ohne Störungen nach der rein elliptiſchen Bewegung einnehmen würde, und ſelbſt alle Elemente der Ellipſen erleiden dadurch Veränderungen, ſie werden bald enger, bald weiter, ſchieben ſich um den Brennpunct, den die Sonne einnimmt, herum, und nur die Länge der großen Axe bleibt unverändert. Auf dieſe Weiſe erweitert ſich z. B. die Erdbahn beſtändig ſeit Jahrtauſenden, modificirt dadurch den Erfolg der Einwirkung der Sonne auf den die Erde begleitenden Mond ſo, daß ſeine Geſchwindigkeit ſtets, wenn auch nur ungemein wenig zunimmt, und eben daher kommt es auch, daß die Schiefe der Ekliptik ſeit ungefähr 4000 Jahren abnimmt. Es iſt wohl begreiflich, daß unter allen Einwirkungen, welche die Erde erleidet, die der Sonne wegen ihrer großen Maſſe und die des Mondes wegen ſeiner Nähe am bedeutendſten ſeyn müſſen. Für ſie wird ſogar die Geſtalt der Erde einen Einfluß auf die Größe und Beſchaffenheit der Störungen haben, weil ihre Entfernung von der Erde nicht ſo groß iſt, daß man die Erde als Punct anſehen könnte, und dieſe auch keine Kugel iſt, bei der man die ganze Maſſe in einem Puncte vereinigt annehmen kann. Genaue, nach dem Gravitationsgeſetze angeſtellte Rechnungen lehren auch, daß durch dieſe Einwirkung auf die an den Polen abgeplattete Erde das Vorrücken der Aequinoctialpuncte und das Schwanken der Erdaxe hervorgebracht werde. Solche Rechnungen geben nicht bloß das Daſeyn gewiſſer Bewegungen, ſondern auch ihre Größe an; durch ſie hat man die Periode vieler Bewegungen früher kennen gelernt, als man ſie aus Beobachtungen abnehmen konnte, ja auf manche Phänomene iſt man früher durch Reſultate des Calculs aufmerkſam gemacht worden, als ſie durch Beobachtungen erkannt wurden, und in allen Fällen hat ſich das Gravitationsgeſetz als vollkommen richtig bewährt.

79. Aus dem Geſetze der Gravitation kann man auch die Maſſe, das abſolute Gewicht und die Dichte jedes Planeten, ſo wie den Raum berechnen, den auf ihm ein Körper im freien Falle in der erſten Secunde zurücklegt. Dieſe Berechnung gründet ſich auf Folgendes: Da die Anziehung jedem einzelnen materiellen Theilchen eigen iſt, ſo muß ſie mit der Maſſe des anziehenden Körpers zunehmen; andererſeits kann man aber die Anziehung durch den Querſinus des Bogens ſchätzen, der in einer Zeiteinheit zurückgelegt wird, und welcher deſto größer iſt, je ſchneller die Bewegung vor ſich geht, oder je kleiner bei derſelben Entfernung die Umlaufszeit iſt. Vergleicht man daher die Bahnen, welche in gleichen Zeiten um zwei Centralkörper zurückgelegt werden, ſo gibt ihr verkehrtes quadratiſches Verhältniß das der Maſſen der Centralkörper. Auf dieſe Weiſe hat man das Verhältniß der Sonnenmaſſe zur Maſſe jedes Planeten beſtimmt, der von Trabanten umgeben iſt. Die Maſſen der trabantenloſen Planeten muß man aus den Perturbationen, die ſie an der Erdbahn anrichten, abnehmen. Auf

dieſem Wege hat man die Maſſe des Mars und der Venus kennen gelernt und ſich überzeugt, daß die Maſſe des Merkurs nur ſehr klein ſey, weil ſeine Störungen wenig merklich ſind, wiewohl man die wahre Größe derſelben nicht genau zu beſtimmen im Stande iſt. Indeß nimmt man ſie ſo an, wie ſie ſich aus der Wirkung auf den Encke'ſchen Kometen ergibt, der ihm im Jahre 1835 ſehr nahe kam. Aus der Maſſe, verglichen mit dem Volum, erkennt man die Dichte der Himmelskörper, ſo wie den Fallraum in der erſten Secunde, wie folgende Tafel zeigt.

	Maſſe.	Mittlere Dichte.	Fallraum eines frei fallenden Körpers in der erſten Secunde.
Sonne	345936	0,250	428,25 P. F.
Merkur	1.15	1,5	8,7
Venus	1.161	1,01	14,95
Erde	1.000000	1,00	15,1
Mars	0.129453	0,66	5,81
Veſta	0.000078	1,2	0,73
Juno	0.004078	0,53	2,13
Ceres	0.007559	0,16	2,85
Pallas	0.002815	0,94	0,64
Jupiter	303.14	0,239	37,59
Saturn	100.4	0,13	16,04
Uranus	16.9	0,185	12,7

80. Durch die hier betrachtete Gravitation bekommen die Himmelskörper ein Beſtreben, ſich der Sonne zu nähern. Zur Erklärung ihrer jährlichen Bewegungen iſt aber noch eine zweite momentan wirkende Kraft, die Tangentialkraft nothwendig. Nimmt man an, daß ein Planet durch was immer für eine Urſache einen nicht durch ſeinen Mittelpunct gehenden Stoß erhalten habe; ſo hat er dadurch die zur Centralbewegung nöthige Tangentialbewegung und zugleich ſeine Axendrehung erlangt. Der Parallelismus ſeiner Axe während der jährlichen Bewegung folgt unmittelbar aus der Trägheit der Materie. (I. 304.)

Eilftes Kapitel.

Fixſterne. Größe des Weltalls.

81. Bei weitem der größte Theil der ſichtbaren Sterne beſteht aus Fixſternen. Um ſie nur einigermaßen zu überſehen, hat man den ganzen Himmel gleichſam in Bezirke eingetheilt, die in jedem einzelnen vorkommenden Sterne Conſtellation oder Sternbild genannt, und jedes mit einem beſonderen Namen bezeichnet, von dem ſich aber durchaus nicht auf die Geſtalt, der die Conſtellation ähnlich iſt, ſchlie=

ßen läßt. Man lernt ſie kennen, durch Sternkarten, Himmelsgloben, noch leichter aber durch Burja's Abbildungen, wo jedes Sternbild auf ſtarkem Papier verzeichnet iſt, worin die Sterne durch runde Löcher vorgeſtellt werden. Es gibt 106 Sternbilder, wovon 45 der nördlichen und 61 der ſüdlichen Halbkugel angehören. (Eine nähere Beſchreibung der Sternbilder findet man in Voigt's Lehrbuch der populären Sternkunde. Weimar 1799. S. 72 — 190. Bode's Anleitung zur Kenntniß des geſtirnten Himmels. Berlin 1820. Neuer Himmelsatlas von Harding. Göttingen 1809. Atlas des geſtirnten Himmels von J. J. v. Littrow. Stuttgart 1839.)

82. Der erſte Blick auf den geſtirnten Himmel lehrt ſchon, daß nicht alle Fixſterne gleich ſtark glänzen und daß einige derſelben vorzugsweiſe ſtark leuchten, andere hingegen ein ſo ſchwaches Licht haben, daß man ſie nur in ſehr heiteren Nächten ſieht. Die glänzendſten Sterne heißt man Sterne der erſten Größe, die nächſtfolgenden Sterne der zweiten Größe u. ſ. f. Mit freiem Auge ſieht man nur die Sterne der erſten ſechs Größen. Sterne der erſten Größe gibt es 18, der zweiten 55, der dritten 197 ꝛc. Die glänzendſten darunter ſind Sirius im großen Hunde und Kanopus im Schiffe. Das Licht des erſteren iſt nach Herſchel 324mal ſtärker, als das eines Sternes der ſechsten Größe. Die Anzahl der Sterne der folgenden Claſſen wächſt mit der Zahl der Claſſen ſehr raſch. Die erſten ſechs Claſſen enthalten ſchon 5000, und die erſten eilf Claſſen nach Lalande 50,000 Sterne; die Sternenmenge der folgenden Claſſen iſt unzählbar.

83. Die Entfernung der Fixſterne von der Erde iſt ſo groß, daß ſie nicht bloß von verſchiedenen Puncten der Erde, ſondern ſogar von jedem Puncte der Erdbahn aus an derſelben Stelle des Himmels erſcheinen, und daher ſowohl der Durchmeſſer der Erde, als jener der Erdbahn gegen ihre Entfernung verſchwindet. Zahlreiche Bemühungen der Aſtronomen haben in dieſer Beziehung zu keinem andern Reſultate geführt, als zu der Ueberzeugung, daß die Fixſterne wohl eine wirkliche jährliche Parallaxe haben, und daß dieſer zu Folge die geringſte Entfernung eines Fixſternes von der Erde 200000 Sonnenweiten oder 4 Billionen Meilen ſey. Eben ſo wenig wie die Entfernung läßt ſich die Größe der Fixſterne beſtimmen, da die einzigen hiezu führende Daten, ſcheinbare Größe und wirkliche Entfernung, nicht ausgemittelt werden können.

84. Nicht minder Erſtaunen erregend iſt die Anzahl der Fixſterne. Herſchel konnte in der Gegend der Keule Orions in einem Streifen von 15° Länge und 2° Breite 50000 Sterne deutlich erkennen. Da dieſer Streif der 1375ſte Theil der Himmelsſphäre iſt, ſo müßte die ganze Oberfläche des Himmels 68755000 Sterne enthalten, wenn man annähme, daß ſie überall eben ſo dicht beiſammen ſtehen. Allein ſie ſtehen an vielen Stellen noch viel dichter, und man kann ohne Uebertreibung annehmen, daß jede Quadratminute wenigſtens einen Stern enthalte, und daher die Geſammtzahl der ſichtbaren Sterne 148507200 ſey. Allein dieſes ſind nur die nächſten Sterne, von den

weiter entfernten erkennt man nicht mehr als einen matten Schimmer; wie viele mögen aber bei der nur ſehr unvollkommenen Durchſichtigkeit der Luft ganz unſichtbar ſeyn? Das unbewaffnete Auge ſieht ſelbſt in der heiterſten Nacht nur den kleinſten Theil jener Sterne, welche man mittelſt eines Fernrohres ſieht, und da ſebſt die raumdurchdringende Kraft dieſer Inſtrumente beſchränkt iſt, ſo können auch ſie nur wieder die näheren Sterne ſichtbar machen.

85. Die Sterne ſtehen am dichteſten in der ſogenannten Milchſtraße, welche den ganzen Sternenhimmel als eine Zone von ungleicher Breite, die ſich an einigen Stellen in zwei Zonen theilt, faſt in der Richtung eines größten Kreiſes umfaßt. Ihr milchiger Schimmer kommt von dem verworrenen Lichte einer zahlloſen Menge von Sternen her; an den beiden Polen dieſes Gürtels iſt der Himmel am wenigſten mit Sternen beſetzt, je mehr man ſich aber davon entfernt, deſto dichter erſcheinen ſie. Höchſt wahrſcheinlich bilden die Sterne der Milchſtraße ein eigenes Sternenſyſtem, deſſen Mittelpunct nahe an unſerem Sonnenſyſteme liegt, ein Syſtem, wie es deren mehrere, ja unzählige gibt. Man ſieht nämlich an vielen Stellen des Himmels lichte Stellen, deren einige ſich nur durch vorzügliche Fernröhre in einzelne Sterne auflöſen laſſen, und wieder andere, über welche ſelbſt die beſten Fernröhre nichts vermögen oder die ſie nur wieder in nebelartige lichte Puncte auflöſen. Man nennt ſie Nebelflecken. Herſchel hat deren über 3000 entdeckt. Auch ein ſolcher würde, gleich der Milchſtraße, die Erde wie ein Gürtel zu umſpannen ſcheinen, wenn dieſe ſich innerhalb deſſelben und nicht weit von deſſen Mittelpunct befände, und umgekehrt würde uns die Milchſtraße, wenn wir uns um 100 ihrer Durchmeſſer außer ihr befänden, nur wie ein Nebelfleck von 17′ erſcheinen.

86. Die Fixſterne müſſen leuchtende Körper wie unſere Sonne ſeyn, weil ſie von einer ſo großen Entfernung noch geſehen werden können, und ihr Licht unpolariſirt iſt, wie nur das eines vom leuchtenden Körper direct kommende ſeyn kann. Sollten aber wohl dieſe Millionen Sonnen nicht auch von Planeten umgeben ſeyn, denen ſie Licht und Wärme zuſenden? Man kann füglich die Vermuthungen noch weiter treiben und es für wahrſcheinlich halten, daß alle dieſe Sonnenſyſteme ſelbſt wieder eine Bewegung um einen Centralkörper haben. Dieſes machen vorzüglich jene Sterne wahrſcheinlich, die durch Fernröhre als zwei oder gar als mehrere Sterne erſcheinen, und daher Doppelſterne oder mehrfache Sterne heißen. Man kann annehmen, daß unter je 40 Fixſternen immer wenigſtens ein Doppelſtern ſey. Die Entfernung der zwei Sterne eines Doppelſternes ſcheint verſchieden. Es gibt deren viele mit einer Winkelentfernung von weniger als 2″ bis über eine halbe Minute. Faſt immer iſt einer der zwei Sterne leuchtender als der andere, und ſelbſt bei den mehrfachen Sternen ragt einer in der Regel an Lichtſtärke weit über die andern hervor. Von ſolchen Doppelſternen lehrt nun die Beobachtung, daß ſich der kleinere, minder leuchtende um den leuchtenderen bewegt, und daß ſie ein

durch Attraction verbundenes, beſonderes Syſtem ausmachen. Dasſelbe bemerkt man auch an den mehrfachen Sternen, wo ſich eine ganze Gruppe von Sternen um einen Stern bewegt.

87. Merkwürdig ſind die Veränderungen, die man an einzelnen Sternen bemerkt. Einige haben einen periodiſchen Lichtwechſel. So nimmt z. B. Algol innerhalb 69 Stunden an Lichtſtärke ab und zu; ein Stern im Wallfiſche hat eine ſolche Periode von 332, ein anderer in der Waſſerſchlange eine von 494 Tagen. Man glaubt, dieſe Erſcheinung komme von einer Axendrehung der Sterne, durch welche uns bald ein ſtärker, bald ein ſchwächer leuchtender Theil der Sternoberfläche zugewendet wird. Man hat auch ſchon Sterne bemerkt, die plötzlich hell leuchtend erſcheinen, einige Zeit ſichtbar bleiben, und dann eben ſo plötzlich wieder verſchwinden. Von der Art war der Stern, welcher 1572 in der Caſſiopea ſichtbar wurde. Er erſchien, übertraf bald alle andere Sterne an Lichtglanz, änderte ſeine Farbe öfters, und verſchwand nach ſechs Monaten, ohne ſeinen Platz am Himmel zu verändern. Jeder Fixſtern hat auch eine eigene Bewegung im Raume, die aber erſt nach einer langen Reihe von Jahren bemerkbar wird. Ueber die Richtung und Größe dieſer Bewegung läßt ſich noch nichts Sicheres behaupten.

88. Aus allem Bisherigen geht hervor, daß das unendliche Heer der Himmelskörper aus mehreren Syſtemen beſtehe, deren Theile durch das Geſetz der gegenſeitigen Anziehung zu einem Ganzen vereiniget ſind. Das kleinſte dieſer Syſteme iſt das der Trabanten und ihres Hauptplaneten, das nächſt größere bilden die Planetenſyſteme, deren einem unſere Erde angehört. Millionen ſolcher Planetenſyſteme mit ihren Sonnen bewegen ſich um einen größeren Centralkörper, und bilden wieder ein höheres Syſtem; eine ungemeſſene Zahl ſolcher Syſteme erkennt wieder einen andern Centralkörper als Beherrſcher, und bildet ein Syſtem, wovon unſere Milchſtraße und vielleicht jeder Nebelfleck eines vorſtellt, und ſo überſteigt der ſichtbare Theil der Schöpfung ſchon die engen Grenzen unſeres Verſtandes, und doch iſt er gewiß nur der Vorhof des unendlichen Tempels, deſſen Größe unſer Vorſtellungsvermögen überſteigt. — Nähere Belehrung über dieſen Abſchnitt ſuche man außer den angeführten in folgenden Werken: *Astronomie par M. de Lalande. Paris* 1771—81. *Traité élémentaire d'astronomie physique par J. B. Biot. Paris* 1810. *Astronomie théorique et pratique par M. de Lambre. Paris* 1814. Aſtronomie von Bohnenberger. Tübingen 1811. Theoretiſche und practiſche Aſtronomie von Littrow. Wien 1821. *Traité de mécanique céleste par P. S. Laplace. Paris VII. Traité d'Astronomie théorique par Schubert. Pétersbourg* 1822. Populäre Aſtronomie von J. Littrow. Wien 1825. Populäre Aſtronomie von Frankenheim. 2. Aufl. Braunſchweig 1829. Vorleſungen über Aſtronomie von J. J. Littrow. Wien 1830. Leicht faßliche Vorleſungen über Aſtronomie von Kunzek. Wien 1841. Populäre Aſtronomie von Dr. J. H. Mädler. Berlin 1841.

Zweiter Abſchnitt.

Phyſiſche Geographie.

Erſtes Kapitel.

Beſchaffenheit der Erde im Allgemeinen.

89. Was über die Geſtalt und Größe der Erde bekannt iſt, enthält der erſte Abſchnitt dieſes Theiles. Es iſt aber überdieß noch die Dichte des Erdkörpers als phyſikaliſche Eigenſchaft deſſelben bemerkenswerth. Dieſe hat Reich durch ſorgfältige Wiederholung der zuerſt von Cavendiſh mit der Drehwage angeſtellten Beobachtungen gleich 5.44 gefunden. Darnach ergibt ſich das Gewicht des ganzen Erdkörpers gleich 13 Quadrillionen Pfund. So weit wir die Erdrinde kennen, läßt ſich den oberen Schichten derſelben keine größere Dichte, als 2.7 zuſchreiben, und ſomit muß die Dichte der Erde gegen den Mittelpunct hin ſtark zunehmen. Es iſt ſogar unzuläſſig vorauszuſetzen, gleich weit vom Centrum der Erde abſtehende Schichten haben eine gleiche Dichte.

Beachtenswerth iſt der zuerſt von Kooſen bemerkte Umſtand, daß, wenn man annimmt, die jetzt bekannten chemiſchen Grundſtoffe kommen im Erdkörper im Verhältniß ihrer Atomengewichte vor, man die Dichte der Erde = 5.6, mithin nahe der von wirklichen Beobachtungen angegebenen Zahl findet. (Kooſen in Erdmann's Journ. für pract. Chemie. 22. 490.)

90. Die Oberfläche der Erde iſt größtentheils vom Meere bedeckt, das feſte Land ragt aus dem Meere in Geſtalt drei ſehr großer und vieler kleineren Inſeln hervor. Die größte darunter erſtreckt ſich von 73° nördlicher bis 30° ſüdlicher Breite, reicht von 150°—360° der Länge, und umfaßt daher eine Ausdehnung von 103° in der Breite und von 210° in der Länge. Sie enthält Europa (phöniziſch: Land der Weißen), Aſien und Afrika (Sandland); die nächſt kleinere iſt Amerika, die dritte Auſtralien. Von den größten Inſeln der Erde, welche den Namen Welttheile führen, liegt nur Auſtralien ganz in der ſüdlichen Halbkugel, von den anderen hingegen befinden ſich Europa ganz, Afrika und Amerika aber größtentheils in der nördlichen Halbkugel; überhaupt verhält ſich in der ſüdlichen Halbkugel die vom Meere bedeckte Fläche zum feſten Lande wie 3:1, während dieſes Verhältniß in der nördlichen nahe 3:2 iſt, auch erſtreckt ſich das bekannte feſte Land in der nördlichen Hemiſphäre weiter gegen den Pol, als in der ſüdlichen. Dagegen hat die ſüdliche Erdhälfte vorzüglich viele kleine Inſeln, beſonders nahe am Aequator; die meiſten liegen aber

einander ſehr nahe, ſo daß ſie immer ganze Gruppen bilden. Dieſes zeigt ſich beſonders an der Südſeite von Aſien, wo ſich die Inſeln Ceylon, Sumatra, Borneo, Java, Celebes, Mindanao, Neuguinea, die Molucken, die Philippinen, die Freundſchafts- und die Geſellſchaftsinſeln befinden.

91. Der Umriß des feſten Landes und des Meeres iſt nicht von der Art, daß man darin etwas Regelmäßiges, an ein mathematiſches Geſetz Gebundenes wahrnehmen könnte. Nur das haben alle Continente mit einander gemein, daß ſie gegen Süden in eine hohe felſige Spitze auslaufen. Jede dieſer Spitzen iſt das äußerſte Ende eines plötzlich abbrechenden, nordwärts laufenden Gebirgszuges. Jeder größere Continent hat an der Oſtſeite ſeiner Südſpitze mehrere Inſeln. Die Continente der alten und neuen Welt hängen durch Landengen zuſammen. Uebrigens unterſcheiden ſich die Hauptländermaſſen, die ſogenannten Welttheile, durch ihre Geſtalt auf eine ſehr merkwürdige, mit der Entwicklung der Cultur des Menſchen in Beziehung ſtehende Weiſe von einander: Aſien und das damit zuſammenhängende Europa dehnt ſich vorzugsweiſe von Oſt nach Weſt, Amerika hauptſächlich von Nord nach Süd aus, während Afrika nach allen Richtungen faſt gleich ausgedehnt iſt. Die Längenausdehnung Europa's und Aſiens erſtreckt ſich von 1° — 200° öſtlicher Länge, jene Afrika's umfaßt nur 43°, die von Amerika etwa 120 Längengrade, während ſich Aſien nicht auf 90°, Europa gar nicht einmal auf 60° der Breite nach erſtreckt, Amerika aber in dieſer Richtung über 128°, alſo über ein Drittel des Erdumfanges einnimmt. Afrika hat die abgeſchloſſenſte Geſtalt und eine ſehr einförmige Küſtenperipherie ohne Einſchnitte und Buchten, es hat im Verhältniſſe ſeiner Oberfläche nur eine kleine Berührung mit dem Ocean. Aſien hat beſonders an ſeinen Oſt- und Weſtküſten weit vorſpringende Landzungen und große Einſchnitte. Es hat um ein Viertel mehr Flächeninhalt als Afrika, und eine faſt doppelt ſo große Küſtenlänge als dieſes. Europa hat die mannigfaltigſt geſtalteten Küſten, viele Landzungen und Halbinſeln, es hat viermal weniger Flächenraum und doch mehr Küſtenlänge als Afrika. Amerika endlich vereiniget in ſich die Geſtaltung Afrika's und Aſiens. Südamerika iſt am meiſten mit Afrika, Nordamerika mit Aſien übereinſtimmend. Die Inſeln zerfallen in Betreff ihrer Geſtalt in langgeſtreckte und runde. Erſtere liegen meiſtens reihenweiſe hinter einander, bilden gewiſſermaßen zuſammengehörige Ketten, und haben im Innern meiſtens Bergreihen, die mit der Hauptausdehnung des Ganzen parallel laufen. Sie können als Splitter der ihnen nächſten größeren Continente angeſehen werden. Die runden Inſeln ſind ſelbſtſtändige Formationen ohne jene Bergketten, und entweder hoch über dem Meere erhoben, mit einer Haupterhöhung im Innern, oder nur wenig über die Oberfläche des Waſſers hervorragend; letztere ſind durchaus Werke der Korallenthiere.

Zweites Kapitel.

Gewäſſer der Erde.

92. Der größte Theil des Waſſers, welches den Erdboden bedeckt, bildet eine große zuſammenhängende Maſſe, das **Weltmeer**, und nur ein kleiner Theil desſelben iſt über dem Feſtlande vertheilt, und bildet mehr oder weniger bedeutende Anſammlungen desſelben, und zwar Quellen, Bäche, Flüſſe, Ströme und Seen. Alles Waſſer der Erde iſt in einem beſtändigen Kreislaufe begriffen. Es wird durch die Wärme in Dünſte verwandelt, ſteigt gegen Himmel und bildet die Wolken, fällt von dieſen wieder als Regen, Schnee, Hagel ꝛc. herab, dringt in die Erde ein, erſcheint wieder auf ihrer Oberfläche, und wird zuletzt dem **Meere**, als dem allgemeinen Waſſerbehälter, zugeführt.

93. Die Anfänge der fließenden Wäſſer auf der Erde bilden die **Quellen**. Sie entſpringen vorzugsweiſe an höher gelegenen Orten, jedoch nicht an den höchſten Puncten der Erdoberfläche. Es können mehrere Urſachen Quellen erzeugen, und ſich ſogar bei derſelben Quelle mehrere zugleich wirkſam beweiſen. Am wirkſamſten erſcheint in dieſer Hinſicht das aus der Atmoſphäre gefallene Waſſer. Dieſes dringt in die Felſenritzen ein, fließt darin fort, bis es einen Widerſtand findet, wird hydroſtatiſch gehoben, und kommt daher an Stellen zum Vorſcheine, wo es die Beſchaffenheit des Bodens geſtattet. Auch das durchgeſinterte und zum Theile durch Druck, zum Theile durch Capillarität gehobene Meerwaſſer kann einigen Quellen Nahrung geben; allein Quellen dieſer Art müſſen ſich durch ihr ſalziges Waſſer von den andern unterſcheiden, weil das Meerwaſſer durch bloßes Aufſteigen, ſey es auch durch die feinſten Spalten und Ritzen, von den chemiſch damit vereinigten Stoffen nicht befreit werden kann; auch können ſolche Quellen nicht hoch über dem Meeresſpiegel liegen. Weil ſich im Inneren der Erde viele ausgebreitete Waſſerbehälter befinden müſſen, ſo iſt es auch denkbar, daß die durch Beſchaffenheit der Erde oder durch locale Urſachen bewirkte Erwärmung das Waſſer zum Verdünſten bringe; die Dünſte ſteigen in die Höhe, gehen durch Erkaltung wieder in tropfbaren Zuſtand über, und kommen in ſolchem zum Vorſcheine. Es kann auch der Fall eintreten, daß das in der Erde vorhandene Waſſer durch die Kraft eines expanſiblen Körpers herausgetrieben wird, und ſo nicht nur eine Quelle überhaupt, ſondern ſogar einen völligen Springbrunnen bildet.

94. Die verſchiedenen Quellen unterſcheiden ſich von einander durch die **Menge**, **Beſchaffenheit** und **Temperatur** ihres Waſſers und durch ihre **Beſtändigkeit** oder ihren **Wechſel**. Einige Quellen fließen ununterbrochen, und man bemerkt durchaus keine regelmäßige Ab- und Zunahme ihres Waſſers; dieſes iſt beſonders bei den gebohrten (arteſiſchen) Springquellen der Fall, deren Waſſerbehälter ſehr tief liegt und von dem atmoſphäriſchen Einfluſſe nur

wenig afficirt wird. Die meiſten Quellen erleiden aber durch den Einfluß der Witterung und der Jahreszeiten Aenderungen ihres Waſſerreichthums. Quellen, welche bloß vom Nebel und Regen geſpeiſet werden, nehmen in heißen Sommern allmälig ab, und treten mit dem Beginne der feuchten und regneriſchen Jahreszeit wieder mit erneuerter Kraft ein; jene, welche ihr Waſſer dem geſchmolzenen Schnee der Gebirge verdanken, haben wieder im Sommer, wo der Schnee ſchmilzt, den meiſten Zufluß; andere ſtehen mit dem Charakter der herrſchenden Witterung in Verbindung (wetterlaunige Quellen), und wieder andere fließen beſtimmte Stunden oder Tage und ſetzen eben ſo eine beſtimmte Zeit hindurch aus, ohne von der Jahreszeit oder Witterung afficirt zu werden.

Zwei Quellen bei Wallis in Graubündten, die nur ungefähr 25 Schritte von einander entfernt ſind, fließen nur vom Anfange April bis in den Herbſt; eine andere im Canton Bern, der ſogenannte Engſtlerbrunnen, fließt von der Mitte Mai bis in die Mitte Auguſt, allein nur von 4 Uhr Nachmittags bis etwa 8 Uhr Morgens. In Peru auf dem Berge Piro ſoll eine Quelle ſeyn, die nur Nachts läuft, wenn es nicht zuvor geregnet hat. Eine Quelle bei Fontestorbe in den Pyrenäen ſoll in den Sommermonaten 36½ Minuten fließen, dann 32½ Minuten ausſetzen, und nur eintretender Regen ſoll einen ununterbrochenen Fluß bewirken. Eine andere bei Nismes gibt in 20 Stunden zweimal Waſſer, ſie fließt 7 Stunden lang und ſetzt dann durch 3 Stunden aus. Das Waſſer der Quelle in Plinius Landhauſe bei Como nimmt des Tages dreimal ab und zu. Dieſes periodiſche Fließen hat wahrſcheinlich darin ſeinen Grund, daß ſich im Innern der Erde ein Waſſerbehälter befindet, der mittelſt eines gekrümmten Hebers mit dem Ausflußorte der Quelle in Verbindung ſteht, wo dann natürlich die Heberwirkung nicht eher beginnen kann, als bis das Waſſer im Baſſin ſo hoch ſteht, daß der Heber gefüllt iſt, ſobald aber dieſes geſchieht, läuft es ganz aus. Die berühmteſten periodiſch fließenden Quellen hat Island an ſeinen Springquellen aufzuweiſen. Aber die große Anzahl aller hier vorkommenden wird vom ſogenannten Geiſer übertroffen, der ſich zwei Tagreiſen vom Hekla befindet. Es iſt hier eine natürliche Röhre von 19 Fuß im Durchmeſſer und von unbekannter Tiefe, über welcher ſich das Waſſer ein Becken gemacht hat, deſſen oberer Rand 9 Fuß hoch iſt, und 56 Fuß im Durchmeſſer hat. Durch dieſe Röhre ſpringt das Waſſer ſiedend heiß verſchiedene Male des Tages auf eine Höhe von 90 Fuß, und führt oft Steine mit ſich auf eine bedeutende Höhe. Daß hier vulcaniſche Wirkung im Spiele ſey, erleidet wohl keinen Zweifel.

95. Die Temperatur der meiſten Quellen ſtimmt in der Regel mit der mittleren des Ortes überein, wo ſie entſpringen; nur in geringen Breiten iſt ſie etwas niederer als die des Ortes, in großen Breiten hingegen wieder etwas höher. Es gibt aber doch Quellen, deren Temperatur von der Wärme der Luft unabhängig iſt; am merkwürdigſten ſind jene, deren Temperatur viel höher iſt als jene der Luft, weil ſie häufig als Heilmittel gebraucht werden. Einige ſind ſtets wärmer als die Luft, andere kälter.

Auf dem Berge Pila in Frankreich befindet ſich Waſſer, welches das ganze Jahr hindurch ſo kalt iſt, daß man es nicht trinken kann; eine ähnliche Waſſerſammlung befindet ſich auf dem Berge Genevre. Me-

bevi am Wetterſee in Schweden hält unveränderlich eine Wärme von $6\frac{1}{2}°$. Uebrigens verſteht es ſich von ſelbſt, daß eine Quelle, die eine beſtändige Temperatur hat, welche der mittleren Wärme der Luft gleich iſt, im Sommer kälter, im Winter wärmer erſcheint als die Luft. Die warmen Quellen erhalten ihre Wärme durch örtliche Urſachen, und ſind in der Regel Eigenthum vulcaniſcher Gegenden. Die vorzüglichſten heißen Quellen ſind die in Island, zu Karlsbad, Aachen, Baden bei Wien, Gaſtein im Salzburgiſchen, Abano bei Padua, Plombiers in Lothringen, Barege und Bagneres in den Pyrenäen, Aix in Savoyen, Bath in England, Mehadia in Ungarn. Die Temperatur warmer Quellen iſt verſchieden. Einige ſind nur lau, eine Quelle zu Abano bei Padua hat 79° R., eine bei Oelve auf Island 80°, der Sprudel in Karlsbad 55°, die Quelle zu Bath 45°, die heißeſte von Aachen 40°, von Barege $38\frac{3}{4}°$, in Gaſtein 38°, in Plombieres 30°.4—53° 6. Einige dieſer Quellen haben, ſo weit unſere Wärmemeſſungen reichen, immer dieſelbe Temperatur gehabt, die ſie jetzt haben; andere ſind von ihrem Wärmegrade ſehr abgewichen, beſonders zur Zeit vulcaniſcher Ereigniſſe.

96. Da das Waſſer in der Erde, bevor es einen Ausgang findet, durch Gebirgsmaſſen fließen muß, welche mancherlei auflösliche Stoffe enthalten; ſo muß es mit verſchiedenen Subſtanzen geſchwängert hervortreten. Am reinſten iſt das Quellwaſſer, welches aus Granit- oder Sandgebirgen hervorkommt, ohne jedoch ſo rein zu ſeyn, wie das Regenwaſſer. Dasjenige hingegen, welches durch Kalkgebirge oder Gipslager fließt, nimmt von dieſen Subſtanzen mehr oder weniger auf, bekommt dadurch einen eigenthümlichen Geſchmack und wird hart. Waſſer, das ſehr viele mineraliſche Beſtandtheile enthält, heißt Mineralwaſſer. Wiewohl das meiſte Quellwaſſer einen Antheil kohlenſaurer Luft mit ſich führt, ſo gibt es doch einiges, das vorzüglich viel davon enthält, dadurch einen ſäuerlichen Geſchmack annimmt, und deßhalb Sauerbrunnen heißt. Solche Wäſſer enthalten auch immer einen ſolchen Beſtandtheil, der ſich mit der kohlenſauren Luft verbindet.

Sauerbrunnen mit kohlenſauren Alkalien ſind die zu Eger, Teplitz, Pyrmont, Bilin, Marienbrunn; mit kohlenſaurem Eiſen die zu Bilin, Selters, Spaa, Johannesbrunn ꝛc. Einige Waſſer enthalten vorzüglich viel Kochſalz, wie die unzähligen ſogenannten Salzquellen, oder andere ſalzſaure Salze, wie z. B. bei Erfurt, Wiesbaden; andere enthalten Bitterſalz (ſchwefelſaure Bittererde) aufgelöſt, wie z. B. das Seidſchützer, Sedlitzer; andere Glauberſalz, wie das Pilnaer Waſſer in Böhmen; andere verbreiten ringsum einen ſchwefeligen Geruch von enthaltener Schwefelleber (Schwefelkali), wie z. B das Badnerwaſſer, der Stinkbrunnen zu Marienbrunn, das Aachener und Weilbacher Bad. Seifenartige Waſſer befinden ſich bei Plombiers; ſolche, die ſchwefelſaures Kupfer enthalten, bei Neuſohl in Ungarn, bei Altenburg im Erzgebirge, bei Fahlun in Schweden. Sie verwandeln ſcheinbar Eiſen in Kupfer, weil ſich das Eiſen in der Schwefelſäure des Waſſers auflöſet und dafür das Kupfer zurückbleibt. Die Kalk- und Kieſelſinter führenden und meiſtens heißen Wäſſer haben die Eigenſchaft, hineingelegte Sachen mit einer Rinde zu überziehen und gleichſam zu verſteinern. Von der Art iſt beſonders das Karlsbader Waſſer, das bei Tours und bei Tivoli. Merkwürdig iſt in dieſer Hinſicht die Quelle

von Quanca velica, 30 Meilen von Lima in Südamerika. Dieſe breitet ſich über das nächſte Land aus, und verhärtet ſelbſt zu einem gelblichen Steine, den man von jeder beliebigen Form haben und dann zum Baue verwenden kann, wenn man dienliche Formen mit dieſem Waſſer füllt und ſie einige Zeit ruhig ſtehen läßt.

97. Daß aus der Erde hervorquellendes Waſſer häufig ſolche Stoffe mechaniſch mit ſich fortreißen müſſe, die es nicht chemiſch aufzulöſen vermag, iſt wohl begreiflich. Solche Subſtanzen ſetzen ſich aber, nachdem das Waſſer in Ruhe gekommen, von ſelbſt wieder ab, während man zur Beſtimmung der chemiſch vereinigten beſonders feiner chemiſcher Kunſtgriffe bedarf. Unter allen ſolchen mechaniſch mit dem Waſſer gemengten Stoffen ſind die brennbaren am merkwürdigſten, welche unter dem Namen Steinöhl und Naphta bekannt ſind.

Die Hauptgegend, wo ſich letztere Stoffe in Quellen befinden, iſt unweit der perſiſchen Stadt Baku. Sie ſchwimmen als ſpecifiſch leichtere Körper auf dem Waſſer der Quelle, das man in eigene Behälter leitet, um ſie abſchöpfen und als Handelsartikel veräußern zu können. Oft entzündet ſich die Naphta ſelbſt, und dann erſcheint die ganze Waſſerfläche brennend; noch öfter wird ſie abſichtlich in Flammen geſetzt. An einigen Orten kommt ſie ohne Waſſer zum Vorſchein, wie dieſes am ſogenannten Feuerorte der Fall iſt, den die Perſer für heilig halten. Daſelbſt erſcheinen bei trockener Witterung ſtarke, gelblichblaue Flammen, die man mittelſt eines Fächers auslöſchen kann. Die armen Bewohner der dortigen Gegend brauchen daher nur ein Rohr in den feſtgeſtampften Lehmboden ihrer Hütten zu ſtecken und ſeinem oberen Ende ein brennendes Papier zu nähern, um eine dauernde, etwa $1/2$ Fuß hohe Flamme zu erhalten, die ihnen zu ihren Arbeiten Licht gibt. In China hat man eigens angelegte (gebohrte) Brunnen von 1000 bis 2000 Fuß Tiefe und 5 bis 6 Zoll Oeffnung, die Waſſer mit viel Salzgehalt und zugleich brennbares Gas liefern, das man in Röhren fortleiten und zur Beleuchtung benutzen kann. (Zeitſchr. n. F. 2. 284.)

98. Das Waſſer fließt von den Quellen vermöge ſeiner Schwere in tiefer gelegene Stellen, vereinigt ſich zu Bächen und endlich zu Flüſſen und Strömen, wovon ſich letztere ins Meer ergießen, mithin ihren urſprünglichen Namen vom Urſprunge bis zum Ausfluſſe ins Meer behalten. Die Quellen der meiſten Flüſſe liegen in ſehr hohen Gebirgen. Wenn auch einige Flüſſe, wie z. B. der Don, der Tigris, der Hoangho aus Seen hervorfließen; ſo bekommen doch dieſe ihr Waſſer von Quellen, und man kann den Urſprung der Flüſſe aus Quellen für ein allgemeines Geſetz halten.

99. Der Weg eines Fluſſes verfolgt immer die niedrigſten Stellen der Erdoberfläche. Da nun dieſe nicht in einer geraden Linie liegen, ſo muß auch die Richtung ſeines Laufes verſchieden ſeyn, und ſein Bett muß mancherlei Krümmungen machen. Im Allgemeinen nimmt die Anzahl dieſer Krümmungen gegen den Ausfluß hin zu. Ungeachtet der vielfältigen Krümmungen eines Flußbettes hat doch der größte Theil einerlei Strich, und es iſt auffallend, daß bedeutende Flüſſe in ihrem Laufe mehr nach Oſt und Weſt, als nach Nord und Süd gerichtet ſind.

100. Die Neigung des Bettes gegen den Horizont, oder deſſen Gefälle, iſt bei den verſchiedenen Flüſſen verſchieden, ja ſelbſt derſelbe Fluß hat nicht an allen Stellen denſelben Abhang des Bettes. In der Regel iſt das Gefälle großer Flüſſe gegen den Urſprung hin am größten, gegen den Ausfluß am kleinſten. Ueberhaupt iſt ein Flußbett nicht wie eine mathematiſche geneigte Ebene anzuſehen, ſondern es gibt da eben ſo, wie auf dem feſten Lande, Anhöhen und Vertiefungen, nur iſt die Summe der erſteren kleiner als jene der letzteren, und die Differenz beider Summen gibt das eigentliche Gefälle. Das Gefälle wird oft durch jähe Abſtürze und durch aufſtauende Felſen unterbrochen.

101. Die Breite des Flußbettes iſt ſo veränderlich wie die Beſchaffenheit der Gegend, wodurch es geht. Oft engen es Gebirge bedeutend ein, und bewirken dadurch ein Aufſteigen des Waſſers. Gegen den Ausfluß erweitert ſich gewöhnlich das Flußbett bedeutend, und theilt ſich auch nicht ſelten in mehrere Arme, deren Anzahl durch abgeſetzten Sand oft vermindert wird. Die Verengungen des Flußbettes befinden ſich in der Regel immer da, wo es von Felſenmaſſen durchzogen wird, die Katarakten oder Wirbel erzeugen.

102. Die Waſſermenge, welche ein Fluß führt, iſt in der Regel deſto größer, je länger ſein Lauf iſt, und je mehr Nebenflüſſe oder Bäche er aufnimmt. Unter allen Flüſſen der Welt ſind die amerikaniſchen die größten. Die Waſſermenge eines Fluſſes iſt nicht immer gleich groß. Durch das Schmelzen des Schnees oder durch häufige Regengüſſe ſchwellen die Flüſſe an, treten manchmal ſogar über ihr Bett hinaus und überſchwemmen das Land. Dieſes iſt beſonders bei ſolchen Flüſſen der Fall, in die ſich viele Nebenflüſſe ergießen. Am merkwürdigſten ſind aber jene Ueberſchwemmungen, die immer zu beſtimmten Zeiten eintreten, und von denen oft die Fruchtbarkeit des Bodens abhängt, wie beim Nil. Die Urſache dieſer periodiſchen Erſcheinung liegt in den Regengüſſen, welche auf dem Mondgebirge und im abeſſiniſchen Hochlande, wo die Quellen des Nils liegen, vom April bis September dauern. Aehnliche, wenn auch nicht ſo ſegenreiche Ueberſchwemmungen verurſacht auch der Ganges, der Euphrat, der Indus, der Miſſiſſippi und Laplata.

103. Die Geſchwindigkeit, mit welcher das Waſſer in Flüſſen fortſchreitet, hängt hauptſächlich vom Gefälle ab, und iſt in dieſer Hinſicht wie die Bewegung über eine ſchiefe Ebene zu betrachten. Allein die Geſchwindigkeit nimmt nicht beſtändig zu, wie dieſes bei einer ununterbrochenen ſchiefen Ebene der Fall iſt, weil auch das Flußbett dem Laufe des Waſſers viele Hinderniſſe in den Weg ſetzt, die Neigung deßhalb an vielen Stellen Unterbrechungen erleidet, viele die Geſchwindigkeit hemmende Serpentinen vorhanden ſind, und ſich oft ein anderer Fluß einmündet, deſſen Richtung mit jener des Hauptfluſſes einen zu großen Winkel macht. Indeß nimmt doch die Geſchwindigkeit ſolcher Flüſſe, die eine ziemliche Strecke gerade fortlaufen, wie dieſes bei den amerikaniſchen faſt durchaus, und bei den europäiſchen

nahe am Ausfluſſe der Fall iſt, mit dem durchlaufenen Wege zu. Das Waſſer hat auch nicht in allen Theilen eines Querſchnittes dieſelbe Geſchwindigkeit. Ohne alle Hinderniſſe der Bewegung würde die Geſchwindigkeit mit der Tiefe zunehmen, und ein Fluß müßte am Boden die größte Geſchwindigkeit haben; allein wegen der Ungleichheit des Bodens befindet ſich die größte Geſchwindigkeit immer nahe an der Oberfläche. Eben ſo iſt die Geſchwindigkeit an verſchiedenen Puncten der Breite verſchieden, woran wohl die Hinderniſſe, welche die Ufer dem Fluſſe in den Weg ſetzen, den größten Antheil haben. Man nennt den Ort, wo die Geſchwindigkeit am größten iſt, den Stromſtrich. Dieſer befindet ſich bei geraden Ufern meiſtens in der Mitte, bei gekrümmten iſt er aber dem hohlen Ufer am nächſten. Da bei einem Fluſſe, der weder im Anſchwellen, noch Abnehmen begriffen iſt, durch jeden Querſchnitt gleich viel Waſſer fließen muß, wenn ſich nicht inzwiſchen ein anderes Gewäſſer in ihn ergießt; ſo muß ſeine mittlere Geſchwindigkeit deſto größer ſeyn, je enger das Flußbett iſt.

Der Connecticut hat dort, wo er durch Felſen ſehr eingeengt wird, eine ſolche Geſchwindigkeit daß er die ſchwerſten Metalle mit ſich fortreißt, ohne ſie untergehen zu laſſen, und daß man ſelbſt mit Gewalt kein Brecheiſen ins Waſſer ſtoßen kann. Aus dieſem Grunde vermehren Brücken, Wehren, Separationswerke u. ſ w. die Geſchwindigkeit der Flüſſe ſo ſehr. Die ſchnellſten Flüſſe des Erdbodens ſind die Donau, der Indus, der Tigris und der Amazonenfluß. Erſtere hat im unteren Theile ihres Laufes 5 F., letzterer gar 7 F. Geſchwindigkeit. Um ſich die große Geſchwindigkeit der Donau erklären zu können, muß man ihren langen Lauf von 250 Meilen in Betrachtung ziehen und bedenken, daß ſie, ungeachtet ihre Quelle nicht hoch liegt, doch viele an hohen Orten entſpringende Flüſſe aufnimmt, wie z. B. den Inn, die Drau u. d. m.

104. Die Oberfläche des Waſſers eines Fluſſes iſt nicht eben, ſondern convex oder hohl. Erſteres findet bei Flüſſen Statt, die in der Strombahn bedeutend ſchneller fließen, als in den übrigen Theilen, letzteres bemerkt man beim Auslaufe der Flüſſe ins Meer, wenn die Meeresfluth in ihr Gebiet eindringt; denn da vermindert ſie die Geſchwindigkeit des Waſſers außerhalb des Stromſtriches weniger als im Stromſtriche, und macht, daß jenes höher ſteht als dieſes.

105. Das Flußwaſſer iſt ſo wenig rein als irgend ein Quellwaſſer, jedoch gibt es keinen Fluß, der ein mineraliſches Waſſer führt, wenn man einige kleine Bäche im ruſſiſchen Reiche und ein Paar Flüſſe in Nordafrika ausnimmt, die Kochſalz führen, und wovon einige ſo ſalzig ſind, daß ihr Waſſer gar nicht getrunken werden kann. Die Beſtandtheile, welche das Waſſer mit ſich führt, kommen vom Boden des Flußbettes her, werden bei einem ſchnellen Laufe zum Theile mechaniſch mit fortgeriſſen und bei geringer Geſchwindigkeit wieder abgeſetzt. Von ſolchen Theilchen hat dann auch das Waſſer ſeine Farbe.

Das hellſte Waſſer führt der Euphrat, Ganges und die Themſe; der Nil hat ein weißes Waſſer, wenn er nicht hoch ſteht, der Hoangho in China iſt gelb; nach Humboldt gibt es in Amerika einige kaffeh-

braune Flüſſe. Manche Flüſſe führen Gold in ihrem Sande, wie z. B. der Po, die Aar, die Phaſis in Aſien, und beſonders die Flüſſe in Guinea.

106. Es wäre ſehr intereſſant, die Waſſermenge zu kennen, welche alle Flüſſe zuſammen ins Meer tragen. Um dieſe zu finden, müßte man die mittlere Geſchwindigkeit und den Durchſchnitt jedes Fluſſes genau kennen, was aber jetzt bei weitem noch nicht der Fall iſt. Um genäherte Reſultate zu erhalten, ſetzt man dieſe Waſſermenge den Stromgebieten proportional, d. i. dem Flächeninhalte der Gegend, die ihnen Waſſer zuſendet. Dieſe findet man 250mal größer als die des Rheins, von dem man aus Meſſungen weiß, daß im Mittel durch ſeinen Querſchnitt am Niederrhein jährlich 0,1959 Kubikmeilen Waſſer fließen. Hiedurch erhält man für die Waſſermenge aller Flüſſe den genäherten Werth von ungefähr 49 K. Meilen, welchen man wegen häufigem Anſchwellen der Flüſſe wohl auf 75 erhöhen kann.

Die Erfahrung lehrt die Stromgebiete in geogr. Meilen, wie folgt:

Amazonenſtrom	88,305	Don	6,088
Plata	71,665	Weichſel	3,578
Lorenzſtrom	62,330	Duero	1,638
Miſſiſſippi	53,636	Tago , ...	1,327
Ob	63,776	Seine	1,236
Jeniſei	47,000	Loire	2,378
Lena	36,483	Garonne	1,433
Amur	53,559	Po	1,410
Hoangho	33,686	Trent	0,439
Ganges	22,224	Donau	4,412
Wolga	30,154	Rhein	3,598
Nil	32,620	Weſer	0,874
Senegal	25,614	Elbe	2,800
Dwina	5,890	Oder	2,072

107. Wenn das Waſſer wegen der zu tiefen örtlichen Lage nicht abfließen kann, ſo bildet es einen See oder Sumpf. Erſteres findet dann Statt, wenn das Waſſer eine beträchtliche Ausdehnung und eine ſo große Tiefe hat, daß Waſſerpflanzen die Ebene der Oberfläche nicht zu häufig unterbrechen: letzteres hingegen, wenn die Oberfläche größtentheils durch Gewächſe, die am Boden wachſen, unterbrochen iſt.

108. Das Entſtehen eines Sees kann man ſich auf mannigfaltige Art erklären, und die Richtigkeit dieſer Erklärungsarten an verſchiedenen Waſſerſammlungen nachweiſen. Entſteht eine ſehr waſſerreiche Quelle, die durch einen ſtarken Druck herausgetrieben wird, in einer keſſelförmigen Vertiefung; ſo muß das Waſſer den Keſſel ſo weit ausfüllen, bis es einen Abfluß findet, oder bis die Oberfläche ſo weit vergrößert wird, um durch Verdünſtung ſo viel Waſſer zu verlieren, als die Quelle zuführt. Solche Seen gibt es in vielen Gebirgsgegenden, und aus ihnen kommen oft die namhafteſten Flüſſe hervor. Es kann auch geſchehen, daß ein Fluß in einer Gegend in eine ähnliche keſſelförmige Vertiefung kommt, wo er ſich ausbreiten und ſo eine örtliche, einen kleinen See vorſtellende Erweiterung

ſeines Bettes erleiden muß, oder daß er in ſeinem Laufe auf Hinderniſſe geräth, die eine Anſchwellung des Waſſers, und dadurch einen See erzeugen. Hier kann das Waſſer, wenn es eine große Höhe erreicht hat, wieder abfließen, ſo daß es den Anſchein hat, als wenn der Fluß durch den von ihm unabhängig exiſtirenden See ginge, oder es kann die Waſſermaſſe ſo viel an Oberfläche gewinnen, daß der Verluſt durch Verdünſtung und der Zufluß durch den Strom ſich das Gleichgewicht halten. Im erſten Falle hat der See Zufluß und Abfluß, im zweiten Falle nimmt er auf ſichtbarem Wege Waſſer auf, hat aber keinen bemerkbaren Abfluß. Schon mancher See iſt durch einen Erdfall, durch einen vulcaniſchen Ausbruch oder durch Ueberſchwemmungen entſtanden.

In die Reihe der Seen der erſten Art gehört der Genferſee, durch den die Rhone fließt, der Koſtnitzer See, den der Rhein durchſtrömt, im öſterreichiſchen Salzkammergute der Trau- und Hallſtädterſee. Nordamerika hat deren ſehr viele aufzuweiſen. In die zweite zählt man den ungeheuren See, der gewöhnlich das caſpiſche Meer genannt wird, den Aralſee, das todte Meer u. ſ. f. Erſterer nimmt die Wolga, den Jaik und Emba, letzteres den Jordan auf, ohne einen ſichtbaren Abfluß zu haben. Oſtfriesland hat noch jetzt einen unterirdiſchen See, der mit einer feſten Erdrinde überzogen iſt. Stürzt dieſe ein, ſo iſt die Anzahl der Seen wieder um einen vermehrt. In Calabrien entſtanden beim Erdbeben im Jahre 1753 über 100 Seen. Der See Averno bei Puzzuolo verdankt einem eingeſtürzten Vulcane ſein Entſtehen.

109. Die Seen ſind auf der Erde verſchieden vertheilt, kommen jedoch in gemäßigten und kalten Gegenden häufiger vor, als in heißen, wahrſcheinlich weil daſelbſt die Verdünſtung durch die höhere Temperatur ſo ſehr begünſtigt wird, daß ihr ein Zufluß aus Quellen oder Flüſſen nicht ſo leicht das Gleichgewicht halten kann. Es iſt kaum zu bezweifeln, daß die Seen ehemals in einer größeren Anzahl vorhanden waren, als jetzt. So ſcheint Böhmen ein ausgetrockneter Seegrund zu ſeyn. Nach Herodot war ganz Theſſalien ein von Bergen umſchloſſenes Gewäſſer. Das Verſchwinden der Seen kommt wahrſcheinlich auf Rechnung der Gebirgsdurchbrüche, durch welche ſich das Waſſer einen Ablauf bildete.

110. Die Größe und Geſtalt der Seen iſt ſehr mannigfaltig. Der caſpiſche See iſt einer der größten auf der Erde. Sein Flächeninhalt beträgt 5000 — 6000 Quadratmeilen. Von großer Ausdehnung iſt auch der Baikal- und Aralſee in Aſien, der Wenner- und Wetterſee in Schweden, der Ladoga- und Onegaſee in Rußland. Bei den meiſten Seen iſt eine Dimenſion gegen die andere vorwaltend, beſonders bei denen, welche in Gebirgsgegenden vorkommen. Die im flachen Lande nähern ſich mehr der Kreisform.

111. Einige Seen haben eine ungeheure Tiefe, doch iſt dieſe eben ſo wenig unveränderlich als die eines Fluſſes. Gebirgsſeen nehmen zur Regenzeit bedeutend zu. Einige entleeren ſich gar periodiſch, und füllen ſich dann wieder, wie dieſes beim Zirknitzerſee in Krain der Fall iſt.

112. Das Seewaſſer iſt nicht rein, ſondern enthält die mannigfaltigſten chemiſch aufgelöſten und mechaniſch beigemengten Stoffe. Einige, wiewohl die wenigſten Seen führen eine bedeutende Menge aufgelöſtes Kochſalz, wie z. B. der caspiſche See, und viele im nördlichen Aſien. Einige Seen in Ungarn führen Natrum. Das ſogenannte todte Meer enthält, außer einer ſehr bedeutenden Menge Kochſalz, auch noch insbeſondere das ſogenannte Judenpech. Dieſes ſteigt vom Boden des Sees in die Höhe, nachdem Rauchſäulen und übelriechende Ausdünſtungen ſeine Ankunft verkündigt haben, welche große vulcaniſche Thätigkeit vermuthen laſſen.

113. Sümpfe und Moräſte entſtehen nur da, wo die Beſchaffenheit des Bodens und der Zufluß nicht ſo beſchaffen iſt, daß ſich ein See bilden könnte, und doch das Waſſer nicht ablaufen kann. Die meiſten Sümpfe hat Afrika aufzuweiſen. Moräſte gibt es im nördlichen Europa in großer Menge und Ausdehnung. An vielen Stellen zieht man daraus Bäume hervor und gewinnt Torf.

114. Das Weltmeer iſt die ungeheure Waſſerſammlung, welche ein unter ſich zuſammenhängendes Ganzes ausmacht und das feſte Land von allen Seiten umgibt. Es dringt vielfältig in das feſte Land ein und bildet Arme, die man Meerbuſen nennt, wohl auch große Binnenmeere, hat in ſeinen Theilen verſchiedene Benennungen, welche von angrenzenden Ländern, von ihrer Lage gegen die Weltgegenden, wohl auch von minder weſentlichen Merkmalen hergenommen ſind, und überhaupt viel Willkürliches an ſich haben. Die vorzüglichſten Theile des Weltmeeres ſind: 1) Das atlantiſche Meer, zwiſchen Europa und Nordamerika bis zum nördlichen Polarkreiſe; 2) das äthiopiſche Meer, zwiſchen Afrika und Südamerika; 3) das indiſche Meer, zwiſchen den beiden Halbinſeln Indien und der Oſtküſte Afrika's; 4) das ſtille Meer von der öſtlichen Grenze des indiſchen Meeres bis zur Weſtküſte von Amerika; 5) das nördliche Eismeer, vom Nordpole bis an die Nordküſten von Europa, Aſien und Amerika; 6) das ſüdliche Eismeer, vom Südpole bis zum äthiopiſchen, indiſchen und ſtillen Meere. Die vorzüglichſten Meerbuſen ſind das mittelländiſche Meer, das ſelbſt wieder als beſondere Meerbuſen das adriatiſche und ſchwarze Meer bildet, die Oſtſee, das weiße Meer, das rothe Meer (arabiſcher Meerbuſen), der perſiſche Meerbuſen, die Meerbuſen von Bengalen und Siam, von Cochinchina und Kamtſchatka (Ochotzker Meer) und von Californien, der mexicaniſche Meerbuſen, die Baffins- und Hudſonsbai ꝛc.

115. Die Seiten des Meerbeckens, welche man insgemein Küſten nennt, erheben ſich an vielen Orten weit über die Fläche des Meeres und fallen ſteil gegen das Waſſer ab, an anderen ſind ſie nicht viel höher als der Waſſerſtand. Hohe, ſchroffe, felſige Küſten ſind meiſtens dort, wo das Meer tief und ſehr ſtürmiſch iſt, ſie ſind aber wahrſcheinlich durch das Meer ſelbſt erzeugt, indem das Land ſo lange weggeſchwemmt und untergraben wurde, bis Felſen dem weiteren Vordringen ein Ende machten. Durch allmälige Vergrößerung ſchließen

ſie ſich an die Küſten unmittelbar an, und werden zu einem eigentlichen Geſtade. Von dieſen muß aber der ſogenannte Strand unterſchieden werden, d. i. derjenige Theil des Meerufers, der nur bei niedrigem Waſſer aus demſelben hervorragt, bei hohem aber von demſelben überdeckt wird und den landenden Schiffen große Gefahr bringt. Ein Strand kann durch günſtige Umſtände zu einer Düne und endlich gar zu feſtem Geſtade werden. Es iſt merkwürdig, daß nicht der Waſſerſpiegel aller Waſſerſammlungen in derſelben Höhe liegt. Erwieſenermaßen befindet ſich ſchon der Spiegel des caſpiſchen Meeres um 76 P. F. tiefer als jener des Oceans, und jener des todten Meeres um 1250 F. tiefer als der Spiegel des mittelländiſchen Meeres.

Die höchſte bekannte Küſte der Erde iſt die an der Weſtſeite von St. Kilda, eine der hebridiſchen Inſeln; ihre Höhe beträgt gegen 600 F. über die Meeresfläche. Die norwegiſchen Ufer ſind auch faſt durchgängig ſteil und hoch. Zu den niedrigſten Küſten gehören jene von Holland, die eigentlich durch Kunſt dem Meere abgewonnen wurden und beinahe niedriger als das Waſſer ſind. Niedrige Ufer haben oft in der Nähe lange, über den Waſſerſtand hervorragende Sandhügel, welche durch das Meer oder durch Flüſſe angeſchwemmt wurden und Dünen heißen.

116. Der Meeresboden iſt im Ganzen wenig bekannt. Es läßt ſich aber ohne weitere Unterſuchung einſehen, daß er ſo wie das feſte Land Erhöhungen, Thäler und Ebenen habe. Die meiſten Inſeln liegen in dem Zuge, in welchem die Gebirgskette eines nahen feſten Landes liegt, zum Beweiſe, daß dieſe Ketten ſelbſt unter dem Meere fortlaufen. Auch das Geſtein, welches die Küſten bildet, findet man gewöhnlich noch eine ziemliche Strecke weit vom Lande, ſo daß man wohl annehmen kann, die Beſtandtheile des feſten Landes ſeyen mit denen des Meerbodens im Allgemeinen übereinſtimmend. Ungeachtet dieſer Uebereinſtimmung der Beſtandtheile des Meerbodens und des feſten Landes, hat erſterer doch einiges Eigenthümliche. Dahin gehören die in einigen Gegenden des Meeres, beſonders in der Südſee, ſo häufigen Korallenbänke. Dieſe erheben ſich vom Grunde des Meeres zu einer ſolchen Höhe, daß ſie oft nahe an den Waſſerſpiegel reichen und unzähligen Inſeln zur Unterlage dienen, oft aber vom Waſſer bedeckt bleiben und die Schifffahrt ungemein gefährlich machen.

117. Von den Erhöhungen und Vertiefungen des Meerbodens hängt die Tiefe des Meeres ab. Man hat bis jetzt wenige genaue Reſultate über dieſen Punct, weil eine ſolche Unterſuchung zu ſchwierig iſt. Das ſicherſte Mittel, die Tiefe zu meſſen, iſt ohne Zweifel ein an einer langen Schnur hängender Körper von Blei; allein dieſes läßt ſich nur bei geringen Tiefen anwenden, weil bei großer Tiefe das Blei durch die Schnur, welche ſpecifiſch leichter iſt als das Waſſer, getragen wird und daher nicht bis auf den Boden hinabſinkt. Deßhalb bedient man ſich zur Erforſchung bedeutender Tiefen ſogenannter Bathometer.

Das brauchbarſte Inſtrument dieſer Art gab Hook an. Es beſteht aus zwei an einander gehängten Körpern, wovon der eine ſpecifiſch ſchwerer, der andere ſpecifiſch leichter iſt als Waſſer. Läßt man ſie ins Waſſer ſo macht ſich der leichtere alſogleich vom ſchwereren los, ſobald er den

Meeresboden erreicht hat, und ſteigt in die Höhe, ſo daß man aus der Zeit, welche verfloß vom Augenblicke des Unterſinkens bis zum Emportauchen, die Tiefe berechnen kann. In der Regel nimmt die Tiefe zu, wie man ſich vom feſten Lande entfernt, und zwar deſto ſchneller, je ſteiler die Küſten aufſteigen. Sehr ſteile Küſten haben ſelbſt zunächſt an ſich ſo große Tiefen, daß Schiffe nicht ankern können, während ihnen flache Ufer wegen zu großer Seichtigkeit keine Annäherung geſtatten. Merkwürdig iſt der ſchnelle Wechſel der Tiefe in Gegenden, wo ſich Korallen- oder Sandbänke befinden. Als Beiſpiel des letzteren Falles mögen die großen Sandbänke in Neufoundland dienen, wovon die größte 80 Seemeilen lang, 20 breit iſt, und 40 Klafter unter Waſſer ſteht, ſo, daß die Schiffe ohne Gefahr darüber ſegeln können, zu beiden Seiten aber iſt das Meer unergründlich tief.

118. Die **Farbe** des Meerwaſſers iſt gewöhnlich grünlich, ins Blaue ſpielend; jedoch können der verſchiedene Zuſtand der Luft, die Beſchaffenheit des durchſcheinenden Bodens, beigemiſchte organiſche Stoffe die Farbe verſchieden modificiren. An den weſtindiſchen Inſeln iſt das Waſſer ſo durchſichtig, daß man auf dem mit weißem, reinen Sande bedeckten Grunde jeden kleinen Gegenſtand bemerkt, und ein Fahrzeug in dieſem Gewäſſer wie in der Luft zu hängen ſcheint.

Von beſonderer Klarheit ſoll das Waſſer im arabiſchen Meerbuſen ſeyn; im rothen Meere erſcheint es wegen der häufigen Korallen röthlich. Bei ſtürmiſchem Wetter erſcheint das Meer weiß; vor der Mündung des Plataſtromes hat man es oft roth gefunden und Gewürme als die Urſache dieſer Färbung angeſehen. An der weſtlichen Seite Afrika's, zwiſchen 20—34° nördlicher Breite und um Florida, iſt das Meer wie ein Wieſe grün gefärbt, weil es von organiſchen Stoffen ganz überzogen wird.

119. Eine für die Seefahrer ſehr intereſſante Erſcheinung iſt das **Leuchten** des Meeres. Oft läßt nämlich ein Schiff ſo, wie es das Waſſer durchſchnitten hat, leuchtende Furchen hinter ſich, manchmal bemerkt man aber nur da Licht, wo die Wellen zuſammenſchlagen; oft erſcheint eine bedeutende Strecke wie mit unzähligen Sternen bedeckt. Es iſt als ausgemacht anzuſehen, daß dieſes Phänomen durch kleine Thiere (Meduſen, Salpen, Beroen, Phyſalien, Phyſſophoren, Rizophyſen ꝛc.) hervorgebracht werde, die vorzüglich im Leben, aber auch noch im Tode phosphoresciren, beſonders wenn dieſes durch Reibung und Wärme begünſtiget wird.

120. Das Meerwaſſer hat einen bittern und ſalzigen **Geſchmack**, und bekommt leicht, wenn es in Ruhe ſteht, einen üblen **Geruch**; erſterer kommt von den in demſelben aufgelöſten Salzen (ſalzſaurer, ſchwefelſaurer und kohlenſaurer Bittererde, kohlenſaurem Kalk, Kochſalz) her. Die Salzigkeit des Meerwaſſers iſt in verſchiedenen Meeren und in verſchiedenen Längen- und Breitengraden verſchieden. Der Urſprung der Salzigkeit des Meerwaſſers fällt ohne Zweifel mit jenem der Erde zuſammen, und man kann nicht annehmen, ſie ſey ſucceſſiv durch Auflöſung größerer Salzmaſſen vermehrt worden. Die Verſchiedenheit des Salzgehaltes an verſchiedenen Stellen rührt wohl von der größeren oder geringeren Ausdünſtung her.

Das Waſſer des atlantiſchen Meeres iſt ſalziger als jenes der Südſee, und der indiſche Ocean iſt gegen den atlantiſchen Ocean hin ſalzreicher als gegen die Südſee zu. Im atlantiſchen Meere iſt die Salzigkeit am weſtlichen Theile größer als am öſtlichen; die Südſee ſcheint aber in allen Längengraden einerlei Salzigkeit zu haben. In den großen Oceanen gibt es ſowohl am nördlichen, als ſüdlichen Theile ein Maximum der Salzigkeit. Das nördliche ſteht weiter vom Aequator ab, als das ſüdliche. Der verſchiedene Salzgehalt des Meerwaſſers iſt Urſache ſeiner verſchiedenen Dichte, die man durchſchnittlich mit 1.02 angibt. An Stellen, wo das Meer tiefer iſt, und welche von den Küſten entfernter ſind, iſt auch das Waſſer ſalzreicher; Meerbuſen, die mit dem großen Oceane nur durch ſchmale Canäle zuſammenhängen, ſind ärmer an Salz als der weite Ocean; das mittelländiſche Meer iſt allein der ſtärkeren Verdünſtung wegen daran reicher. Große, ſich ins Meer ergießende Ströme vermindern die Salzigkeit desſelben, und äußern dieſen ihren Einfluß oft meilenweit von der Mündung. Nach Lenz (Pogg. Ann. 20. 73) iſt der Salzgehalt des Meeres vom Aequator bis 45° Breite in allen Tiefen innerhalb 1000 Klaftern derſelbe.

121. Wiewohl das Meer im Ganzen keine von ſeiner Schwere abhängende fortſchreitende Bewegung hat, ſo gibt es doch mannigfaltige Bewegungen ſeiner Fluthen, die oft für die Schifffahrt von großer Bedeutung ſind. Dahin gehören die Ebbe und Fluth, beſtändige, periodiſche und unregelmäßige Strömungen und endlich der Wellenſchlag.

122. Unter Ebbe und Fluth verſteht man das periodiſche Abnehmen und Anſchwellen des Waſſers, deren jedes täglich zweimal erfolgt. Ungefähr 6 Stunden nach der Fluth tritt die Ebbe ein, und dieſe wechſelt nach einer gleichen Zwiſchenzeit wieder mit der Fluth; doch verſpätet ſich die periodiſche Wiederkehr der Fluth täglich um ungefähr ſo viel, daß ihre Periode genau mit der halben täglichen Umlaufszeit des Mondes zuſammenfällt. In offener See ſchwillt das Waſſer von Oſten her an, und läuft gegen Weſten wieder ab; an den Küſten wird aber ſowohl die Richtung, als die Geſchwindigkeit und Größe des Zu- und Abſtrömens durch die beſondere Lage und die Krümmungen der Küſten, durch Strömungen, wohl auch durch das Einmünden der Flüſſe und durch Winde bedeutend modificirt. Zwiſchen den Orkneiund den ſchetländiſchen Inſeln fließt das Waſſer von NW. zu und nach SO. ab, in der Davisſtraße kommt es von S. und fließt nach N. ab. Die mittlere Geſchwindigkeit des Zu- und Abfluſſes wird in offener See zu 2 F. angenommen, an den Küſten fällt ſie oft ſo klein aus, daß auf einen Tag ſtatt zwei Fluthen nur eine kommt, wie dieſes bei Weſtindien der Fall iſt; auch erfolgt der Zu- und Abfluß nicht immer mit derſelben Geſchwindigkeit. In der Meerenge von Malacca fließt das Waſſer einen Theil des Jahres hindurch 9 Stunden lang zu, und nur 3 St. lang ab; bei Vera Cruz dauert der Zu- und Abfluß gar 24 St., und es herrſcht daſelbſt während eines Tages gar nur eine Fluth und eine Ebbe Die Höhe der Fluth iſt nicht immer dieſelbe, ſondern unterliegt bedeutenden Veränderungen, und dieſe ſtehen in deutlicher Beziehung mit den Mondesphaſen und mit der Ent-

fernung des Mondes von der Erde. Gegen die Zeit des Vollmondes und des Neumondes wachſen ſie, und gegen die Zeit der Viertel nehmen ſie wieder ab; doch treffen die größten Fluthen (Springfluthen) erſt $1^1/_2$ Tag nach dem Voll- oder Neumonde ein, und auch die kleinſten (Nippfluthen) fallen nicht genau auf die Mondesviertel. Die Zeit des Eintrittes der Fluth wird beſchleunigt, wenn der Mond von der Conjunction oder Oppoſition der Quadratur zugeht, und verzögert, wenn derſelbe von der Quadratur der Conjunction und Oppoſition entgegengeht. Selbſt die Springfluthen ſind periodiſchen Ungleichheiten unterworfen; ſie ſind zur Zeit der Nachtgleichen am größten, zur Zeit der Sonnenwende am kleinſten, doch ſind wieder in den Wintermonaten die Springfluthen der nördlichen Halbkugel Morgens ſtärker als des Abends, umgekehrt in den Sommermonaten. So wie ſich die Sonne, noch mehr aber der Mond der Erde nähert, wachſen die Fluthen ſo, daß die größten aller Fluthen dann eintreten, wenn die Nachtgleiche mit einem Neu- oder Vollmonde und der Erdnähe des Mondes und der Sonne zuſammentrifft.

Beim Ausfluſſe der Elbe beträgt der Unterſchied zwiſchen dem höchſten und niedrigſten Waſſerſtande 10 — 12 F., bei den canariſchen Inſeln ſteigen die Springfluthen auf 7 — 8 F., an den portugieſiſchen und ſpaniſchen Küſten auf 12 F., in der Bai von Biscaya auf 15 F., in der Bai von St. Malo auf 15 F., bei Cherbourg beträgt die Fluthhöhe 19 F., bei Cowes 14 F., bei Havre und Dovre 18 F., bei Dieppe und Calais 17 F. Die Fluth reicht oft weit in die Flüſſe hinein, und erzeugt an den Mündungen Sandbänke (Barren).

123. Man leitet heut zu Tage allgemein Ebbe und Fluth von der anziehenden Kraft der Sonne und des Mondes ab, und rechtfertiget dieſes durch genaue Berechnung dieſer Phänomene aus der Gravitation. Dieſe Berechnung beruht auf Folgendem: Es ſey C (Fig. 392) der Mittelpunct der Erde, dieſelbe ſey ringsum von Waſſer bedeckt, und dieſes habe in jenem Gleichgewichtszuſtande, in welchen es bloß durch die irdiſche Schwere verſetzt wird, die Geſtalt a c b d. Iſt A ein Körper, der anziehend auf die Erde wirkt, und ſeine Entfernung von derſelben von ſolcher Größe, daß gegen ſie der Erdhalbmeſſer nicht verſchwindet, und daher die Theile in a, c, b, d, C eine verſchiedene Anziehung erleiden; ſo kann das vorige Gleichgewicht nicht weiter beſtehen, und die Flüſſigkeit wird eine andere Geſtalt annehmen müſſen, damit wieder Gleichgewicht eintrete. Da a mehr gegen A hin gezogen wird, als C, dieſes hingegen mehr als b, ſo wird ſich dem Körper A die Oberfläche des Waſſers in a mehr, in b aber weniger nähern, als der feſte Theil der Erde, deſſen Annäherung an A jener ſeines Mittelpunctes gleich iſt, und das Waſſer nimmt demnach die Geſtalt $\alpha \gamma \beta \delta$ an. Es käme das Waſſer ins Gleichgewicht, wenn die Erde keine Axendrehung und der Körper A keine Bewegung hätte; vermöge der Axendrehung der Erde und der Bewegung des Körpers A um dieſelbe bleibt es aber in ſteter Bewegung, es ſtrömt fortwährend von c und d nach a und b hin, aber die Stellen a und b rücken ſelbſt um die ganze Erde herum.

Iſt nun A der Mond, ſo begreift man leicht, daß durch ihn täglich an derſelben Stelle zwei Fluthen und zwei Ebben hervorgebracht werden. Auf ähnliche Weiſe wirkt auch die Sonne, aber die von ihr erzeugten Fluthen werden kleiner ſeyn, ungeachtet ihre Anziehung größer iſt, als jene des Mondes, weil ihre Entfernung von der Erde ſo groß iſt, daß ſie die Puncte a, b, c, d und C faſt gleich ſtark anzieht. Fallen die von der Sonne und die vom Monde herrührende Fluth zuſammen, ſo geht daraus eine Springfluth hervor; fällt die Mondesfluth in die Sonnenebbe, ſo reſultirt daraus eine Nippfluth. Hier wurde der Leichtigkeit wegen die ganze Erde mit Waſſer bedeckt angenommen. Wenn auch dieſes in der Wirklichkeit nicht Statt findet, ſo wird dadurch im Weſen der Theorie doch nichts geändert, ſondern es werden nur locale Abänderungen hervorgebracht. (Eine genaue Theorie dieſer wichtigen Erſcheinung findet man in La Place *Mécanique céleste, T. II. p.* 63 *et s. T. V. p.* 145. und in Schmidt's Handb. der math. und phyſ. Geographie. Göttingen 1830. B. 2. S. 532. Eine populäre Darſtellung gibt Schumacher's Jahrbuch für 1838. S. 182.)

124. Die Strömungen ſind vorzüglich für die Schifffahrt von großer Wichtigkeit, und werden darum von den Seefahrern fleißig beobachtet. Sie rühren im Allgemeinen von den herrſchenden Winden, von der Axendrehung der Erde, von der verſchiedenen Temperatur und Salzigkeit des Meerwaſſers, vom zeitweiligen Schmelzen des Polareiſes, von der ungleichen Ausdünſtung, von Ungleichheiten des Bodens, und endlich von der durch einſtrömende Flüſſe mitgetheilten Geſchwindigkeit her. Unter den allgemeinen Strömen ſind der Aequatorialſtrom (von den Holländern Dienung genannt) und der Golphſtrom die wichtigſten. Zufällige Strömungen können überall durch anhaltende Winde und den Wechſel des Waſſerreichthums einmündender Flüſſe erzeugt werden. Stoßen ſtarke Ströme in entgegengeſetzten Richtungen auf einander, ſo entſtehen daraus Wirbel, die manchmal noch durch den Widerſtand des Waſſers an Felſen, auch durch Reflexion deſſelben bedeutend verſtärkt werden, aber den Schiffenden jetzt nicht mehr ſo fürchterlich ſind, als ehemals.

Der Aequatorialſtrom herrſcht zwiſchen den Wendekreiſen, ja ſelbſt bis zum 28. Grad nördlicher Breite, und fließt mit einer mittleren Geſchwindigkeit von 9—10 Meilen in 24 St. im Allgemeinen von Oſt nach Weſt, aber durch den Widerſtand der Küſten erhält er oft eine andere Richtung. Der Golphſtrom entſteht durch den Aequatorialſtrom im mexicaniſchen Meerbuſen, geht anfangs durch den Canal von Bahama nördlich, hierauf nordöſtlich und dann öſtlich, und wird dabei immer breiter und langſamer. Oeſtlich von Boſton iſt er 80, im Meridian der Azoren gar 160 Seemeilen breit, und hat eine Geſchwindigkeit von einer Meile in der Stunde. In 45°—50° nördl. Br. theilt er ſich in zwei Arme, wovon einer ſüdlich geht und unter Madeira wieder zu ſeinem Urſprunge zurückkehrt, der andere aber in nördlicher Richtung gegen die Küſten von Europa zieht, an den norwegiſchen und irländiſchen Küſten gleichſam reflectirt wird, nach Weſt zurückkehrt, und mit einem aus dem Eismeere durch die Davisſtraße kom-

menden Strome vereint gegen die Oſtküſte Grönlands zurückgeht. Man erkennt ſein Daſeyn leicht aus der höheren Temperatur, aus der blauen Farbe ſeines Waſſers und dem häufigen Tange, den er mit ſich führt. Es gibt noch viele andere beſtändige Ströme, aber ſie ſind noch nicht ſo genau unterſucht, wie die vorhergehenden. Ein ſolcher geht vom baltiſchen Meere ins deutſche, vom ſchwarzen Meere in den Bosphorus und ſeitwärts wieder zurück ꝛc Auch viele periodiſche Strömungen ſind bekannt Den größten Theil des Jahres hindurch geht das Waſſer um das Cap Horn und Feuerland vom ſtillen in den atlantiſchen Ocean. Im indiſchen und chineſiſchen Meere gibt es mehrere periodiſche Strömungen. Vom October bis Mai ſtrömt das Waſſer in das rothe Meer, und vom Mai bis October fließt es wieder zurück. Im chineſiſchen Meere herrſcht von Mitte Mai bis Mitte Auguſt ein nordöſtlicher, und von Mitte Auguſt bis Mitte Mai ein ſüdweſtlicher Strom.

125. Durch den Stoß des Windes entſtehen die **Wellen**. Bläſt der Wind mit der Oberfläche des ruhigen Waſſers parallel, ſo kann er durch Reibung die Wellenbewegung anfachen, trifft er ſie aber ſchief, ſo wirkt er wie ein in das Waſſer geworfener Körper. Aus S. 279 u. f. iſt klar, nach welchen Geſetzen alles vor ſich geht. Die Höhe und Breite der Wellen richtet ſich nach der Stärke und Richtung des Windes und nach der Aufeinanderfolge ſeiner Stöße, aber auch nach der Tiefe des Waſſers, daher man auch letztere aus dem Wellenſchlage beurtheilen kann. Die mittlere Höhe der Wellen beträgt nicht über 6 F., ſie iſt in der Nordſee größer als in der Oſtſee und im mittelländiſchen Meere, im atlantiſchen Oceane ſind die Wellen vorzüglich lang und breit. Der Wellenſchlag iſt nur in offener See völlig regelmäßig, wenn ihm keine Klippen im Wege ſtehen; an Felſen entſtehen die ſogenannten **Brecher** (reflectirte Wellen), und an Ufern die **Brandungen**. (Syſtem einer allgemeinen Hydrographie des Erdbodens von **Otto**. Berlin 1810.)

Drittes Kapitel.

Feſtes Land.

126. Eben ſo mannigfaltig, wie ſich das feſte Land in Bezug auf ſeine äußeren Umriſſe darſtellt, erſcheint es auch hinſichtlich der Beſchaffenheit ſeiner Oberfläche. Dasſelbe Land erhebt ſich in verſchiedener Höhe über das Meer, und ſteigt in der Regel deſto mehr auf, je weiter es vom Meere entfernt iſt. Der Verticalabſtand der größten Höhe von der kleinſten, iſt nicht genau bekannt. Setzt man die größte Tiefe des Meeres gleich der halben Höhe des höchſten Berges über die Meeresfläche, ſo erhält man für jenen Abſtand etwa 6000 Klafter, und dieſe machen den 573ſten Theil des Erdhalbmeſſers. Demnach ſind ſelbſt die größten Erhöhungen gegen die Größe der Erde verſchwindend klein. Erhöhungen der Erdoberfläche heißen nach Maßgabe ihrer Größe **Berge** oder **Hügel**, und die tieferen Stellen zwiſchen Erhöhungen werden **Thäler** genannt. Eine Anzahl Berge, welche nach gewiſſen Geſetzen

und in beſtimmten Begrenzungen mit einander verbunden ſind, nennt man ein Gebirge. Eine Reihe zuſammenhängender Berge eines Gebirges heißt eine Gebirgskette. Ihre allgemeinſte Form iſt die eines dreiſeitigen Prisma's, das mit einer Seite auf einem horizontalen Boden liegt, wie ein Dach, und wovon die obere Kante das Joch, die Seitenflächen die Abfälle und die unteren Theile des Abfalles den Fuß derſelben ausmachen. Gebirgsketten durchziehen die Oberfläche der Erde nach allen Richtungen. Die Gegenden, wo mehrere Gebirgsketten ſich vereinen, bilden die Knoten des Gebirgsſyſtems, und von da aus werden ſie durch große Thäler von einander getrennt, die man Hauptthäler (Längenthäler) nennt.

127. Die Höhe eines Berges kann im zweifachen Sinne genommen werden. Entweder verſteht man darunter die verticale Entfernung des Gipfels von ſeinem Fuße oder die Erhöhung deſſelben über die Meeresfläche. Im letzteren Falle denkt man ſich eine Linie vom Mittelpuncte der Erde bis zum Gipfel eines Berges, und eine andere bis zur Meeresfläche in derſelben geographiſchen Breite mit dem Berge gezogen. Der Unterſchied dieſer zwei Linien gibt die Höhe des Berges in der zuletzt genannten Bedeutung. Dieſe Höhe iſt von der erſteren ſehr verſchieden, weil der Fuß eines Berges ſelbſt oft ſchon auf einer bedeutenden Anhöhe ſteht. Man beſtimmt die Höhe eines Berges entweder durch Nivelliren oder durch trigonometriſches Ausmeſſen, oder mittelſt des am Gipfel und am Fuße oder an der Meeresfläche beobachteten Luftdruckes. Das erſtere Verfahren iſt mühſam und oft gar nicht ausführbar, und gibt ſelbſt im günſtigſten Falle nur die Erhöhung des Berges über ſeinen Fuß; letzteres gilt auch von der zweiten, die überdieß auch noch durch die irdiſche Strahlenbrechung, welche die Höhe der Gegenſtände vergrößert, unſicher gemacht wird, wenn man nicht zugleich die Meſſungen ſo einrichtet, daß man daraus zugleich die Größe der Strahlenbrechung erfährt; die dritte iſt am leichteſten ausführbar, und kommt auch an Schärfe den vorhergehenden ziemlich nahe, wenn man keine Vorſicht vernachläßiget.

Nach S. 192 wird die Höhendifferenz H zweier Orte, in welchen die Barometerhöhen B und b und die Lufttemperatur t und t′ herrſcht, ausgedrückt durch $H = C\ (log\ B - log\ b)\ (1 + \alpha\tau)$, wo $C = 56386$ iſt, wenn man die Höhe in Pariſer Fuß oder gleich 57945, wenn man ſie in Wiener Fuß und endlich gleich 18336, wenn man ſie in Metern ausgedrückt haben will, $\alpha = 0{,}00365$, $\tau = \frac{t + t'}{2}$; B und b können in beliebigem Maße ausgedrückt werden. Man kann wohl auch noch den Einfluß der Luftfeuchtigkeit, der geographiſchen Breite ꝛc. in Rechnung bringen, doch ſind die hiedurch erhaltenen Correctionen ſo klein, daß man ſie in den meiſten Fällen vernachläßigen kann. Uebrigens wird die Correction wegen der geographiſchen Breite φ gefunden, wenn man den durch die vorhin gegebene Formel gefundenen Werth von H mit $0.002837\ cos\ 2\varphi$ multiplicirt. Das Reſultat wird zum Werthe von H mit ſeinem Zeichen addirt.

Man kann die Höhe der Queckſilberſäule, welche dem Luftdrucke

entſpricht, nicht bloß durch Barometerbeobachtung finden, ſondern auch aus der Siedhitze des Waſſers ableiten. Bekanntlich haben die aus dem ſiedenden Waſſer aufſteigenden Dämpfe eine Spannkraft, welche dem jedesmaligen Luftdrucke gleich iſt, und beide werden demnach durch dieſelbe Queckſilberſäule gemeſſen; ferner herrſcht zwiſchen der Spannkraft b jener Dämpfe und der Temperatur t der oberen ſiedenden Schichten eine Relation, die ſich durch folgende Gleichung ausdrücken läßt:

$$\log b = \frac{23{,}945371\,t}{800 + 3\,t} - 2{,}2960374,$$

wobei b in Metern angegeben wird. Setzt man in der früheren Formel für b dieſen Werth und $B = 0^m{,}76$, ſo erhält man

$$H = \left(39914{,}7 - \frac{439062\,t}{800 + 3\,t}\right)(1 + \alpha\tau).$$

Die Correctionen wegen den Aenderungen der Schwere in verſchiedenen Breiten laſſen ſich wie bei der barometriſchen Formel anbringen.

Zur leichteren Berechnung geringer Berghöhen dient folgende Tafel: B bezeichnet den auf 0° C. reducirten Barometerſtand, H die Höhe, D die Differenz zweier auf einander folgender Höhen. Alles bezieht ſich auf Wiener Maß.

B.	H.	D.	B.	H.	D.
301 L.	84 F.	8,3	321 L.	1704 F.	7,9
302	168	8,3	322	1738	7,7
303	250	8,3	323	1860	7,8
304	333	8,3	324	1938	7,8
305	416	8,3	325	2016	7,7
306	499	8,3	326	2093	7,8
307	581	8,2	327	2171	7,6
308	663	8,2	328	2247	7,7
309	745	8,1	329	2324	7,6
310	826	8,1	330	2400	7,7
311	907	8,1	331	2477	7,6
312	988	8,0	332	2553	7,5
313	1068	8,1	333	2628	7,6
314	1149	8,0	334	2704	7,5
315	1229	8,0	335	2779	7,6
316	1309	7,9	336	2855	7,5
317	1388	8,0	337	2930	7,4
318	1468	7,9	338	3004	7,4
319	1547	7,9	339	3078	7,4
320	1626	7,8	340	3152	7,4

Beim Gebrauche nehme man aus der Columne H die Zahl, welche den Barometerſtand B in der erſten Station, nach Hinweglaſſung der Bruchtheile einer Linie, bezeichnet, hierauf multiplicire man die weggelaſſenen Zehntellinien mit der Zahl aus der Columne D, welche dem Barometerſtande entſpricht, und addire dieſes Product zu erſterer Zahl. Thut man daſſelbe für den Barometerſtand der zweiten Station; ſo erhält man durch die Differenz der zwei ſo gefundenen Zahlen die verlangte Höhe = A. Um dieſe für die Luftwärme in beiden Stationen

zu corrigiren, multiplicire man den tauſendſten Theil der gefundenen Höhe mit der doppelten Summe der Temperaturen beider Stationen, und gebe das Product mit ſeinem Zeichen zu A. Z. B. aus 24 gleichzeitigen, im botaniſchen Garten in Wien, und am Leopoldsberge bei Wien angeſtellten Beobachtungen ergab ſich die auf 0° C. reducirte Barometerhöhe in Wien = 339,1 L. und die am Leopoldsberge = 330,5.

Der Zahl 339 entſprechen in der Tabelle	3078
0,1	7
mithin 339,1	3085
Eben ſo entſprechen der Zahl 330 in der Tabelle	2409
0,5	38
mithin 330,5	2438
und daher der Höhenunterſchied 3085—2438 =	647

Die Temperatur in Wien war 14°,40, die am Kahlenberge 14°,42, mithin die doppelte Summe 57,64 und $57{,}64 \times 0{,}647 = 37{,}4$, und daher die geſuchte Höhe $647 + 37 = 684$ F.

Siehe hierüber: Die Hypſometrie mittelſt phyſiſcher Beobachtungen von A. Suppan. Innsbruck 1834. Das Höhenmeſſen mit dem Thermometer von J. W. Gintl. Wien 1835.

128. Das Joch einer Gebirgskette iſt ſelten ſo ſchmal, als die vorhin gemachte Vergleichung mit der Kante eines dreiſeitigen Prisma's anzuzeigen ſcheint. Es gibt wohl, beſonders in Deutſchland, einige Puncte, wo das Joch nicht die Breite eines Hauſes hat, wie z. B. am Brenner in Tirol, wo das Dachwaſſer eines Hauſes von einer Seite dem adriatiſchen, von der andern dem ſchwarzen Meere zufließt, oder im Dorfe Siechingen im Würtembergiſchen, wo von einem Hauſe ſich das Regenwaſſer zum Theil in den Neckar, und mithin in die Nordſee, zum Theil in die Donau, und dadurch ins ſchwarze Meer ergießt. In den franzöſiſchen Gebirgen beträgt die Breite kaum eine Meile, in Norwegen bei Langfiels 8—12 Meilen, in Amerika gar 50 Meilen. Man heißt dieſe Gegenden **Landhöhen** oder **Landrücken**.

Die berühmteſten **Landhöhen** befinden ſich in Amerika, nämlich die von Titicaca und Antiſana (2050—2155 W. Kl. hoch), von Quito und Carumarca (1530 Kl.), von Bogota (1407 Kl.) und Mexico (1190 Kl.). Aſien hat, ſo weit man es kennt, nur zwiſchen den Gebirgsketten des Himalaya und Kuenlun Landhöhen, die ſich den amerikaniſchen zur Seite ſtellen laſſen. Die perſiſche Landhöhe hat nur 667 W. K. Afrika iſt uns zu wenig bekannt, als daß man die Landhöhen genau anzugeben im Stande wäre. Das Hochland Abeſſinien iſt wohl unter allen das bekannteſte, und auch nach allen Nachrichten ſo hoch, daß es dem Hochlande Quito noch am erſten an die Seite geſtellt werden dürfte. Europa hat kein Hochland aufzuweiſen, welches ſich mit denen der übrigen Welttheile meſſen könnte. Das ſchwäbiſche Hochland hat nur 450 Kl. Höhe, das Plateau zwiſchen den Alpen und dem Jura 267—277 K., und das in Spanien 359 Kl. Höhe. Selbſt das Hoſpiz auf dem großen Bernhard, der höchſte bewohnte Ort Europa's und noch dazu keine Gebirgsebene, liegt tiefer als die benannten Landhöhen der anderen Welttheile.

129. Selten behält ein Joch eine lange Strecke hindurch dieſelbe **Richtung**, ſondern es wendet und biegt ſich nach verſchiedenen Ge-

genden. Von der Richtung der Gebirgsrücken hängt die Geſtalt eines Landes ab, das ſich über das Meer erhebt. In Amerika läuft ein mächtiges Gebirge von Süd nach Nord, und das Land hat auch in dieſer Richtung die größte Ausdehnung. In Nordamerika läuft ein Gebirge von Nord nach Süd längs der Weſtküſte, und ein anderes an der Oſtküſte von Nordoſt nach Südweſt, und davon hängt die dreieckige Geſtalt des Landes ab; dasſelbe findet in Südamerika Statt, wo nebſt dem von Nord nach Süd laufenden Gebirge auch noch eine Gebirgskette von Nordoſt nach Südweſt hinzieht. In Aſien ziehen die größten Gebirge von Oſt nach Weſt durch das Land, und dieſer Welttheil iſt auch in dieſer Richtung am ausgedehnteſten; Indien erhält ſeine dreieckige Geſtalt wie Nord- und Südamerika durch beſondere Bergketten; Afrika erhält ſeine Geſtalt durch Gebirgsketten, die in der Nähe des Meeres hinlaufen; in Europa erſtrecken ſich die größten Gebirge von Nordoſt nach Südweſt, und in dieſer Richtung iſt dieſer Welttheil auch am ausgedehnteſten. Die Höhe des Joches iſt in derſelben Gebirgskette verſchieden. Iſt die Kette ſelbſtſtändig und von allen Seiten mit Ebenen umgeben, ſo liegt ihre größte Höhe in der Mitte; iſt ſie aber nur ein auslaufender Zweig eines größeren Gebirgsſtammes, ſo hat ſie in dem Theile die größte Höhe, welcher dem Centrum am nächſten iſt, und verflächt ſich immer mehr. Beträchtliche und ſchnelle Abfälle eines Gebirgsjoches bilden Päſſe, welche als Vereinigungspuncte zweier getrennten Länder angeſehen werden können, und ihrer, in Bezug auf die benachbarten Theile des Gebirges, niederen Lage ungeachtet, oft eine bedeutende abſolute Höhe haben. Auf dieſe Weiſe verbinden die Päſſe über den Brenner und St. Gotthard das weſtliche Deutſchland mit Italien, der Paß des Puymorin Frankreich mit Spanien u. d. m. Oft werden Gebirgszüge von Flüſſen durchbrochen, wie dieſes z. B. die Elbe bei Königſtein, der Rhein zwiſchen Mainz und Köln thut. Daher folgt auch die Waſſerſcheide nicht den Gebirgszügen.

130. Der Abfall einer ganzen Gebirgskette beſteht aus einer großen Anzahl beſonderer Abfälle, die man erſteigen muß, um den Gipfel oder das Joch zu erreichen. Die mittlere, aus allen dieſen zuſammengeſetzte Neigung der Seitenflächen wechſelt bei gewöhnlichen Gebirgsketten von $2^\circ - 6^\circ$, der ſüdliche Abfall der Alpen von den höchſten Puncten an beträgt nur $3^3/_4{}^\circ$. Allein es ſcheint eine allgemeine Regel zu ſeyn, daß die beiden Abhänge einer Gebirgskette ungleich ſind, und daß immer einer kürzer und ſteiler als der andere iſt. Man kann es als Regel anſehen, daß die Gebirge immer dort den ſteilſten Abhang haben, wo ſie ein Becken einſchließen, es mag dieſes nun feſtes Land ſeyn oder Waſſer enthalten. Die Gebirgsketten haben häufig an den Abhängen ſenkrecht auf ihrer Länge tiefe Einſchnitte, welche Thäler bilden, die von den vorhin genannten, von ganzen Gebirgsketten gebildeten unterſchieden werden müſſen, und eigentlich nur große, bis zum Fuß der Kette herabſteigende Rinnen formiren. Dieſe Thäler theilen die Kette in kleinere, untergeordnete Arme und Zweige, von

denen alles das gilt, was von der Hauptkette geſagt wurde. Ihr Joch fällt nicht gleichförmig ab, ſondern hält ſich oft lange in einer bedeutenden Höhe, und ſenkt ſich dann plötzlich; ſie laufen oft über den Fuß der Hauptkette hinaus. Erſtrecken ſie ſich bis zum Meere und endigen ſich da ſchnell, ſo nennt man ſie ein Cap oder Vorgebirge.

131. Den Gebirgsgegenden ſtehen die ſogenannten Wüſten ſowohl in Hinſicht ihrer phyſiſchen Beſchaffenheit, als auch durch die Rolle, welche ſie in der Geſchichte der Erde ſpielen, gerade gegenüber. Wenn jene dem Auge eine unendliche Mannigfaltigkeit darbieten, ſo ermüden es dieſe durch eine eben ſo große Einförmigkeit. So wie jene die Geburtsſtätte der Quellen und Flüſſe ſind, die gewürzreichſten und kräftigſten Pflanzen nähren, unzähligen Thieren zum Aufenthalte dienen, und von ihren höheren Puncten das herrlichſte Panorama darſtellen; ſo ſind dieſe waſſerarm und trocken, von aller Vegetation entblößt, meiſtens nur mit Sand und kleinen Steinen bedeckt, und gewähren dem Wanderer das ſchauerliche Bild einer todten Welt. Wiewohl die Wüſten in der Regel allenthalben, wo ſie vorkommen, denſelben Grundcharakter einer großen, der Vegetation im Allgemeinen ungünſtigen Ebene behalten; ſo werden ſie doch im Einzelnen durch die Beſchaffenheit des Bodens, durch das Klima und ihre Höhe über die Meeresfläche näher beſtimmt.

Die Wüſten von Aſien und Afrika ſind eigentliche Sandmeere, und beſtehen aus unermeßlichen Strecken, die mit Flugſand oder mit großen Kieſelſtücken überſäet ſind; ſie laſſen ſich vom Cap Bojador an bis jenſeits des Indus in einer Strecke von 1400 geogr. Meilen verfolgen. Die größte iſt die Sahara, die wie ein ausgetrockneter Meeresarm ganz Afrika zwiſchen dem 15. und 31.° nördl. Br. durchſetzt, und 65000 Q. Meilen faßt. In ihr ſpricht ſich der Charakter einer Sandwüſte am ſchrecklichſten aus. Sie bietet dem Auge nichts als eine unermeßliche, durch keinen Hügel unterbrochene Ebene dar, nichts als brennender Sand, mit dem die Winde ihr verderbliches Spiel treiben, bedeckt den pflanzenleeren Boden, keine Quelle findet ſich daſelbſt, und nur ſelten ſtoßt man auf künſtliche, in den Sand gegrabene Brunnen, zu welchen dem Wanderer die in Sand geſteckten Knochen von umgekommenen Thieren den Weg zeigen, die häufig wieder verſchüttet oder von Inſectenſchwärmen erfüllt ſind. Die Luft iſt wolkenlos, heiß, röthlich trübe, mit dem feinſten Sande überladen, von keinem Regen erfriſcht und von keinem Vogel beſucht. Nur wenige Orte dieſes grauenvollen Meeres ragen, wie Inſeln, mit ihrer üppigen Vegetation aus dem Sande hervor; ſie werden Oaſen genannt. Eine andere große Wüſte Afrika's iſt die Lybiſche, welche vom Nilthale begrenzt wird. Jenſeits der Landenge von Suez fängt die Wüſte Nedsjed an, die das ganze Innere von Arabien ausfüllt. Der Euphrat iſt die öſtliche Grenze der arabiſchen und ſyriſchen Wüſte. Perſien wird vom caſpiſchen Meere an bis zum indiſchen von ungeheuren Sandmeeren durchſchnitten, unter denen die an Salz reichen Wüſten von Adjemin, Kerman und Mekan die hauptſächlichſten ſind. Nach Humboldt beträgt der Erdſtrich, den dieſe Sandwüſten einnehmen, die Oaſen abgerechnet, gegen 112,000 geogr. Quadratmeilen.

132. Die Urſachen der Abweſenheit aller Vegetation in den bisher genannten Wüſten iſt der Mangel an Waſſer, der durch das Klima und die Lage hervorgebracht iſt, und die Armuth an Vegetation ſelbſt wieder bedingt. Dieſes zeigen die Oaſen dieſer Wüſten, und der Umſtand, daß ſelbſt dort, wo das Klima kälter iſt, aber wegen der Höhe über der Meeresfläche und der Beſchaffenheit des Bodens alles Waſſer abfließt, die Gegend das traurige Bild einer Sandwüſte darſtellt. Der Einfluß des Waſſers zeigt ſich vorzüglich an den ſogenannten Llanos in Amerika, an der Wüſte Karao in Südafrika und an vielen Gegenden, die bei einem anderen Klima gewiß Sandwüſten wären, nun aber in die Reihe der ſogenannten Steppen gerechnet werden dürfen.

Die Karao hat ungefähr 1000 geogr. Quadratmeilen, liegt zwiſchen hohen Bergen, und iſt ſelbſt von nicht unbedeutenden Thonſchiefergebirgen durchzogen, ſtellt aber doch auch Ebenen von 30—40 Quadratmeilen dar. Ihr Boden beſteht auch aus Thon und Sand. Dieſer wird während des Sommers ſo ausgetrocknet, daß er mächtige Sprünge bekommt, an vielen Stellen ganz ausgedörrt iſt und die Vegetation verliert, während er an anderen, waſſerreichen mit dem ſchönſten Pflanzenſchmucke prangt. Sobald aber die kühlere Jahreszeit Regen bringt, ſo erwachen die in der Erde vergrabenen Wurzeln und Samen, und bald lockt die üppige Vegetation die Bewohner der nahen Gebirge mit ihren Heerden herbei. Ein ähnliches Schauſpiel bieten die Llanos in Amerika dar. Sie liegen, wie die Sahara, im heißen Erdſtriche, beſitzen aber ein mehr feuchtes Klima, und erſcheinen daher in jeder Jahreshälfte in einer andern Geſtalt. Wenn im Sommer unter dem ſenkrechten Strahle der Sonne die Pflanzendecke abgebrannt und der Boden ausgetrocknet iſt, und ſelbſt der ſonſt kühlende Oſtwind neue Hitze bringt; ſo wetteifern ſie an Unfruchtbarkeit mit Sahara; ſobald aber die Regenzeit eintritt, überzieht ſich der ganze Boden mit den mannigfaltigſten Gräſern.

133. Die Steppen gleichen durch ihren Mangel an abwechſelnden Vertiefungen und Erhöhungen den Wüſten, unterſcheiden ſich aber von ihnen dadurch, daß ſie den Sommer hindurch mit Pflanzen beſetzt ſind, worunter viele Salzpflanzen vorkommen, die wenigſtens den Schein einer Wüſte tilgen.

Solcher Steppen gibt es beſonders in Aſien viele. Sie erſtrecken ſich von der chineſiſchen Mauer bis zum Aralſee, faſt ununterbrochen 1000 geogr. Meilen weit. Dazu kommen noch die nördlich von Aſtrachan liegenden und diejenigen, welche ſich zwiſchen der Wolga, dem Don und Dnieper bis zur ſogenannten beſſarabiſchen Wüſte hinziehen. — Eine der größten Steppen der Erde befindet ſich in Amerika. Sie zieht von der Küſtengebirgskette von Caraccas bis zu den Wäldern von Guyana, und beträgt nach Humboldt 14000 Quadratmeilen.

134. Man muß in jedem Welttheile mehrere Gebirgsſyſteme annehmen, die von einander nicht bloß durch Thäler und Ebenen getrennt ſind, ſondern ſich in ihrer äußeren Form und inneren Structur von einander unterſcheiden.

Aſien hat mehrere merkwürdige Bergſyſteme: Das Bergſyſtem des Urals oder das Pojaſſowoi-Pawdinskoi-Gebirge, des Caucaſus, des Taurus und Antitaurus, des Altai, Tiankhan, Kuenlun und des Himmelsgebirges (Himalaya) ꝛc. Das Uralgebirge fängt nicht weit vom caſpiſchen Meere unter 45° nördl. Br. an, und geht von Südoſt nach Nordweſt bis ins Eismeer fort; die caucaſiſchen Gebirge ziehen von SO. nach NW. 95 Meilen lang zwiſchen dem caſpiſchen und ſchwarzen Meere fort, und erreichen mit dem Berge Caucaſus die größte Höhe, nämlich 2839 W. Kl. Die mittlere Höhe, der Kamm dieſer Kette, beläuft ſich auf 1387 Kl. Das Syſtem des Altai im weiteren Sinne erſtreckt ſich von Oſt nach Weſt zwiſchen den Parallelen von 50 — 59° nördl. Br., 160 Meilen tief in die Kirgiſenſteppe, ohne bedeutende Höhen zu erreichen. Das Bergſyſtem *Thiankhan*, von *Pallas* Bokhdo genannt, iſt vom Altai gegen Oſten durch eine hohe, von SSW. nach NNO. laufende Bergrippe, *Khingkhan-Oola*, getrennt, liegt in einer mittleren Breite von 42°, erreicht im Bokhda-Oola (heiligen Berge) ſeine größte Höhe, zieht öſtlich nach Barkoul, verflacht ſich da in die große Wüſte *Gobi*, und erſtreckt ſich nördlich von Kaſchgar gegen Samarkand. Das Bergſyſtem des *Kuenlun* oder *Kulkun* beginnt im Weſten mit dem blauen oder Zwiebelgebirge (Thſungling), und zieht ſich gegen Oſten nach den Quellen des Hoangho hin. Das Syſtem des Himalaya trennt Kaſchmir, Nepal und Butan von Thibet, und ſteigt im Dhawalagiri bis zu 4513 W. Kl. an, zieht größtentheils von NW. gegen SO., und iſt mit dem Kuelun durch Nebenketten verbunden. Die Gebirgsſyſteme *Afrika's* ſind nur wenig bekannt. Unter 10° nördl. Br. läuft ein Gebirge, die *Mondberge* genant, hin, ein anderes am Vorgebirge der guten Hoffnung, und endlich an der Nordweſtküſte der Atlas mit ſeinen Ausläufern. Eben ſo wenig kennen wir die Gebirgsſyſteme Auſtraliens. Die *europäiſchen* Gebirgsſyſteme ſind aus einleuchtenden Gründen am beſten bekannt. Das Hauptgebirge Europa's ſind die *Alpen* (weißen Berge). Sie ſind von allen Seiten ſcharf begrenzt, dehnen ſich von 23° — 35° der Länge und von 44° — 48° nördl. Br. aus, und haben ihre Hauptrichtung von WSW. nach ONO. Ihre größte Höhe beläuft ſich auf 2523 Kl., die mittlere Höhe der Kämme auf 1208 Kl. und ihre Päſſe auf 1231 Kl. Der Hauptgebirgsſtock iſt der St. Gotthard mit einer Höhe von 1468 Kl. Ein anderes und zwar dem Range nach das zweite Gebirgsſyſtem bilden die *Pyrenäen*, die Frankreich von Spanien ſcheiden, und im Mont Marboré (1795 Kl.), Mont Calm (1833 Kl.), Pic de Cascade (1725 Kl.), Pic de Poſets (1810 Kl.) ihre größten Höhen erreichen. Merkwürdig iſt an dieſem Gebirge, daß die niederen Nebenketten mit der Hauptkette völlig parallel laufen, aber auf der Hauptrichtung der Alpen ſenkrecht ſtehen. Das dritte europäiſche Hauptgebirge ſind die *ſcandinaviſchen* oder die *Kiölen* zwiſchen Norwegen und Schweden. Sie laufen nur mit wenigen Krümmungen von Süd nach Nord bis an die Spitze des Nordcaps, und erreichen im Sule Tind eine Höhe von 920 Kl. Die *Karpathen* zwiſchen Ungarn und Galizien ziehen von Nordweſt nach Südoſt, und haben im großen Krywan (1300 Kl.), der Käsmarker- (1630 Kl.) und Lomnitzerſpitze (1700 Kl.) die höchſte Elevation. Die Apenninen, Cevenen, Vogeſen, das Juragebirge, die Sudeten, das Fichtel- und Erzgebirge ꝛc. ſind Gebirge von minderer Bedeutung. *Amerika* hat bedeutende Gebirgsſyſteme. Das vorzüglichſte, ja dasjenige, wovon vielleicht alle anderen bloße Verzweigungen ſind, ſind die *Cordilleras de los Andes* (Kupfergebirge), die Amerika von Nord nach Süd in einer Länge von 2500 Meilen und einer Breite von 18 — 20 Meilen durchziehen. Sie bilden

die Hochebene von Mexico mit mehreren bedeutenden Höhenpuncten, theilen ſich in Südamerika in parallel laufende Aeſte, und erreichen daſelbſt mit dem Chimboraſſo die größte Höhe (3145 Kl.). In Nordamerika theilen ſie ſich in viele Aeſte, wovon ſich der längſte bis zum Cap Wallis erſtreckt, und ſich an die von Aſien überſetzenden Gebirgszüge anſchließt.

135. Alles bisherige bezieht ſich auf die äußere Geſtalt des feſten Landes; es bietet aber auch die Erdrinde in Betreff ihrer materiellen Beſchaffenheit viel Merkwürdiges dar. Längſt hat man bemerkt, daß es Mineralmaſſen in der Erde gibt, welche ſehr allgemein verbreitet, nicht an climatiſche Verhältniſſe und geographiſche Lagen gebunden ſind, und nicht von den Thieren und Pflanzen abhängen, welche auf der Erdoberfläche leben; ferner daß immer mehrere derſelben mit einander wechſeln und auf einerlei oder doch ähnlichen Urſprung hindeuten. Letztere hat man Geſteine einer Formation genannt. Bis in die neueſte Zeit hat man 4—5 ſolche Formationen unterſchieden, nämlich die Ur-, Uebergangs-, Flötz- und die tertiäre Formation, und ſich die ganze Erdrinde von denſelben gebildet gedacht. Aber dieſe Eintheilung kann vor der Maſſe der jetzt bekannten geognoſtiſchen Thatſachen nicht mehr beſtehen; man iſt aber nicht im Stande derſelben eine andere zu ſubſtituiren, welche mit allen Ergebniſſen der Beobachtungen im Einklang ſtünde. Jedes bisher in der Art aufgeſtellte geognoſtiſche Syſtem kann daher nur als ein Verſuch betrachtet werden, den die Folgezeit zu berichtigen hat. Als ausgemacht kann man Folgendes anſehen: Einige Geſteine der Erdrinde ſind geſchichtet, unterliegen allgemeinen Regeln der Lagerung, laſſen eine beſtimmte Altersfolge bemerken und enthalten meiſtens Reſte von Thieren und Pflanzen. Man kann ſie mit Leonhard normale Geſteine nennen. Dieſe ſind gewiß nicht durch Feuer entſtanden und gelten vielmehr für Producte neptuniſchen Urſprungs. Sie ſind in dem uns zugängigen Theile der Erdrinde am meiſten verbreitet. Andere, man kann ſie abnorme Geſteine nennen, zeigen keine Spur von Schichtung, wohl aber eine kryſtalliniſche Bildung, enthalten nie Reſte von Thieren oder Pflanzen und können als Producte des Feuers angeſehen werden. Viele derſelben haben unläugbare Kennzeichen an ſich, daß ſie einmal geſchmolzen waren (vulkaniſche Producte); bei anderen in dieſe Claſſe gehörigen läßt ſich etwas der Art nicht nachweiſen (plutoniſche Producte). Dieſe haben meiſtens ein kryſtalliniſch körniges Gefüge und ſind nie glasartig, bei jenen hingegen herrſcht das Dichte und Porphyrartige vor und ſie ſind oft glasartig. In Bezug auf Verbreitung ſpielen die normalen Geſteine die Hauptrolle, nur in großen, nicht zugängigen Tiefen mögen die abnormen das Uebergewicht erlangen. Letztere treten meiſtens an den höchſten Stellen der Erde zu Tage, und man trifft ſie überhaupt in gebirgigen Gegenden und in hoch liegenden Regionen häufig an, während ſie in niedrig liegenden Landſtrichen ſelten ſichtbar werden. Oft findet man ſie mitten zwiſchen weit verbreiteten normalen Geſteinen und zwar ſo zwi-

ſchen ſelbe hineingezwängt, daß man deutlich entnehmen kann, ſie ſeyen von unten empor gedrungen. Die normalen Gebilde laſſen ſich in mehrere Formationen theilen. Aehnlichkeit der Charaktere, häufiges Zuſammenvorkommen, gegenſeitige Uebergänge eines in das andere, hauptſächlich aber gleiche Natur der organiſchen darin vorfindigen Reſte, beſtimmen die in eine Formation gehörigen Glieder. Ueber die Zahl und Benennung ſolcher Formationen ſind die Geognoſten nicht völlig einig, auch läge eine nähere Betrachtung derſelben zu weit außerhalb unſerem Gebiete. Die Subſtanzen, welche den uns bekannten Theil der Erdrinde bilden, ſind größtentheils Verbindungen von Eiſen, Kalk Thon- und Kieſelerde, letztere macht allein 0,45 des Ganzen aus.

Viertes Kapitel.

Veränderungen der Erde.

136. Es kann wohl Niemand glauben, daß die Erde in dem Zuſtande, in welchem ſie ſich gegenwärtig befindet, aus den Händen des Schöpfers gekommen ſey, da wir täglich Veränderungen an ihr bemerken, von vielen anderen authentiſche Nachrichten vorhanden ſind, und die unzähligen Ueberbleibſel der organiſchen Körper, die Niederlagen verſchütteter Wälder, abgelagerte Trümmer ehemaliger Gebirge, die Spuren verloſchener Vulkane, die Geſtalt der Thäler, die Formen vieler Gebirge und der Seeküſten u. a. hinreichende Beweiſe eines früheren, von dem gegenwärtigen verſchiedenen Zuſtandes enthalten.

137. Der Fleiß der Menſchen arbeitet unabläßig an der Umſtaltung der Erdoberfläche, und ſelbſt Thiere werden durch den Trieb der Selbſterhaltung gezwungen, zu demſelben Zwecke hinzuarbeiten. So z. B. bauen die Madreporen fortwährend ihre Korallen und erhöhen dadurch den Meeresboden; wenn auch die Wirkungen ihrer Thätigkeit nicht ſo groß ſind, wie man einſt geglaubt hat, indem dieſe Thiere weder in ſehr großen Tiefen noch über die See hinaus arbeiten können, ſo würden ſie doch einzelne Meere für die Schifffahrt ganz untauglich machen, wenn nicht Wellen und Strömungen ihre Gehäuſe wieder zum Theile zerſtörten und fortführten Auch die Pflanzenwelt trägt zur Umſtaltung der Erdoberfläche das Ihrige bei. Fortwährend geht die Verweſung und die Bildung neuer Dammerde vor ſich, die den Pflanzen wieder zur Nahrung dient. Viele im Waſſer wachſende Gewächſe von niederer Organiſation, wie z. B. Conſerven, werden zerſtört und in Torf verwandelt. Nach von Marum's Erfahrungen bildet ſich im Baſſin von Harlem innerhalb fünf Jahren ein beinahe 3 Fuß tiefes Torflager.

138. Die Luft trägt ſowohl im ruhigen als im bewegten Zuſtande viel zur Umſtaltung der Erde bei. Durch ihren Einfluß verwittern viele Stoffe, und nicht ſelten hat eine Bergſpitze ein ſo zeriſſe-

nes Ausſehen deßhalb, weil die Verwitterung fortwährend an ihr arbeitet, und einige Stellen mehr angreift als andere; viele nun iſolirt daliegende Felſenblöcke mögen Ueberreſte verwitterter Gebirge ſeyn. D'Aubuiſſon ſah in Schottland an vielen Stellen Baſaltſäulen iſolirt in die Höhe ſtehen, die doch als vulcaniſche Producte bei ihrem Entſtehen eine feſte Stütze haben mußten. Durch dieſe Wirkungen werden die Gebirge erniedrigt und die Thäler erhöht. Die bewegte Luft, der Wind, bringt beſonders in ſolchen Gegenden, die mit Flugſand bedeckt ſind, nicht unbedeutende Wirkungen hervor. Dieſen Sandwehen iſt es zuzuſchreiben, daß in Sandwüſten die Oaſen nach und nach die traurige Geſtalt der Wüſte annehmen, daß die Wüſten ihr Gebiet allmälig vergrößern, wie man auf der Karavanenſtraße zwiſchen Cairo und Syrien am weſtlichen Ufer des Euphrat ꝛc. zu bemerken glaubt.

139. Noch größer ſind die Wirkungen des Waſſers. Das Meer wirkt durch alle ſeine Bewegungen zerſtörend und erweiternd auf die Ufer. An einigen Gegenden erobert es mit langſamen Fortſchritten einen Theil des feſten Landes, an anderen tritt es wieder zurück, und läßt den Boden trocken hinter ſich, ohne jedoch über das Feſtland ein größeres Uebergewicht zu gewinnen, als es bereits ſeit Langem beſitzt. So findet man an der dalmatiſchen Küſte Bauten im Meere, die offenbar auf trockenem Lande angelegt wurden, dafür liegen aber anderwärts viele Städte, die einſt Seehäfen waren, ziemlich weit vom Meere entfernt. Das Anſetzen neuen Landes wird beſonders durch Flüſſe und Bäche bewirkt, die Steine und Erde von den höher gelegenen Gegenden ins Meer führen, und ſie an den Mündungen liegen laſſen. Sie ſpülen auch dort, wo ihr Lauf ſchnell iſt, das Ufer ab, nehmen Erde, Sand und Steine ſtreckenweiſe mit ſich, ſetzen ſie wieder ab, wenn ihre Geſchwindigkeit vermindert wird, machen dadurch ihr Bett ſeichter, dehnen ſich mehr in die Breite aus, oder ändern gar ihren Lauf. Nach Horner führt der Rhein innerhalb 24 St. nicht weniger als 445981 Kubik-Fuß feſter Theilchen bei Bonn vorbei und nach Lyell führt der Ganges jährlich über 6$^1/_3$ Millionen Tonnen feſter Subſtanzen ins Meer. Manche Flüſſe ſchwellen durch häufigen Regen an, überſchwemmen das feſte Land, und erhöhen es durch den Schlamm, den ſie bei ihrem langſamen Rückzuge zurücklaſſen. In ſolchem Sinne nennt auch Herodot Unterägypten ein Geſchenk des Nils. Wo ſich Gewäſſer unter der Erde verlieren, arbeiten ſie beſtändig an der Untergrabung des feſten Landes, und bewirken dadurch die ſogenannten Erdfälle, welche in Gebirgsgegenden, wo Erdmaſſen auf platten Felſen aufſitzen, nichts Seltenes ſind. So verſank 1585 das Dorf Mottingham bei Kent, 1618 ſtürzte eine Felſenwand des Corto auf den Flecken Plürs und das Dorf Scilano, 1806 wurden durch einen Bergſturz des Roßberges mehrere Ortſchaften mit Schutt bedeckt, 1820 glitt das Dorf Stran in Böhmen an der Eger, welches auf einer, 1 Kl. hohen Lettenſchichte am Abhange eines Berges erbaut war, in die Eger hinab. Auch der beim Dorfe Barbis am

Harze im J. 1825 Statt gehabte Erdfall ſcheint von der Untergrabung des Bodens durch Waſſer herzurühren. Mit Hülfe der Temperatur ſowohl der höheren als niederen bewirkt das Waſſer auf der Erde ganz eigene Erſcheinungen. Fällt es als Schnee aus der Atmoſphäre herab, und häuft es ſich an hohen Gebirgen an; ſo entſtehen manchmal die ſehr gefährlichen Schneeſtürze und Lawinen, welche ganze Ortſchaften verſchütten, Flußbetten verdämmen, und dadurch auf entfernte Gegenden wirken. Dringt das atm. Waſſer in die Ritzen der Berge ein und gefriert darin, ſo dehnt es ſich mit unglaublicher Kraft aus, zerſprengt das feſteſte Geſtein oder treibt es wenigſtens aus einander, und befördert dadurch die Einwirkung anderer Urſachen.

140. Große Veränderungen gehen ohne Zweifel ſowohl an der Oberfläche als im Inneren der Erde durch die Wirkung der elektriſchen Ströme vor ſich, welche durch die Berührung ſo differenter Stoffe, wie ſie den Erdkörper ausmachen, bedingt werden. Das Daſeyn ſolcher Ströme in den Erzgängen iſt wiederholt nachgewieſen worden, und von der mächtigen chemiſchen Wirkſamkeit derſelben kann die Phyſik hinlängliche Beweiſe aufzählen. Becquerel hat durch ſchwache elektriſche Ströme mehrere Mineralkörper erzeugt, die man ſonſt nicht künſtlich zu erzeugen vermochte, und auch von mehreren in der Erde vorkommenden und ſich unabläßig forterzeugenden Mineralien den elektriſchen Urſprung nachgewieſen. (*Ann. de Chim.* 41. 5; 54. 145. Zeitſchr. 6. 351.)

141. Schneller als durch die hier genannten Kräfte erfolgen große Veränderungen der Erde durch vulcaniſche Ausbrüche und durch Erdbeben. Wiewohl in den Vulcanen die innere Thätigkeit ohne Zweifel ununterbrochen fortdauert, ſo erfolgen doch nur manchmal kräftigere Ausbrüche. Die Vorboten derſelben ſind Rauchſäulen, die ſich mit ſehr großer Geſchwindigkeit aus dem Krater des Vulcans erheben, und meiſtens aus Waſſerdunſt, Schwefel, Waſſerſtoffgas, kohlenſaurem Gas beſtehen, manchmal ſogar auch Schwefelſäure und Salzſäure mit ſich führen, und nicht ſelten ungeheure Regengüſſe verurſachen. So wie dieſer Rauch häufiger wird, führt er auch Aſche mit ſich, und bekommt dadurch ein weißliches Anſehen, ja die Aſche erſcheint oft in ſo großer Menge, daß dadurch die benachbarten Gegenden völlig verfinſtert werden. Winde führen ſie in Gegenden, welche viele Meilen weit vom Vulcane entfernt ſind. So wird erzählt, daß man beim Ausbruche des Veſuvs im J. 1794 vier Meilen weit ſelbſt bei Tage nur mit Fackeln herumgehen konnte, und daß die ganze, 50 Meilen weit entfernte Gegend von Calabrien ganz in Wolken gehüllt war. Auf die Aſche folgt gewöhnlich feiner Sand. Dieſer wird von vielen Vulcanen in ſo großer Menge ausgeworfen, daß er bei manchen, wie z. B. beim Aetna, die Hauptmaſſe des Berges bildet, aus dem der Ausbruch erfolgt. Zu dieſem kommen noch Schlacken von Materien, welche im vulcaniſchen Herde geſchmolzen und emporgeſchleudert werden, dabei erhärten, und in Geſtalt abgerundeter Maſſen (vulcaniſche Bomben) herabfallen, wohl auch ungeſchmolzene Steine,

die wahrſcheinlich von den Wänden der inneren Höhlungen losgeriſſen werden. Die Kraft, mit der dieſe fortgeſchleudert werden, iſt ungeheuer. Der Veſuv ſoll ſie auf 3600 F. über den Krater in die Höhe treiben, und bei einem Ausbruche des Cotopaxi in Südamerika ſoll ein Felſenſtück von 900 Kubikfuß 3 Meilen weit geſchleudert worden ſeyn. Mit minderer Kraft dringt die Lava hervor. Sie ſteigt ſelten bei großen Vulcanen bis zum eigentlichen Krater des Vulcans, ſondern ſucht ſich durch Druck oder durch Schmelzung der Seitenwände einen Weg, fährt da ſchnell, wie geſchmolzenes Metall hervor, gräbt ſich im Sande, der die Seiten des Berges umgibt, ein Bett aus, und bewegt ſich vorwärts. Wiewohl die Geſchwindigkeit, mit der ſie fortfließt, von der Neigung des Bodens und von der Zähheit und Menge der Maſſe abhängt, ſo iſt ſie doch nur ſelten groß. Auf ebenem Boden geht ſie kaum in einer Stunde um einige Schritte vorwärts. Dabei wird ſie immer zäher und nimmt oft kaum, wenn ſie auch noch fließt, von einem hineingeworfenen Steine Eindrücke an. Hamilton durchging ſogar einmal einen 20 Schritte breiten, noch im Fluſſe begriffenen Strom. Deßungeachtet iſt ſie nur mit einer harten Rinde überzogen, im Inneren glüht ſie noch und iſt flüſſig, ja man erzählt von Strömen, die nach Jahren noch im Inneren flüſſig waren. Spallanzani ging über Lava, die ſeit einem Jahre nicht mehr floß, aber im Inneren noch einen hineingeſtoßenen Stock anzündete, und Hamilton erfuhr etwas Aehnliches bei der Lava des Veſuvs, die vor 3½ Jahren ausgefloſſen war. Man erſieht wohl hieraus, daß die Lava anfänglich eine ungemein hohe Temperatur haben muß, und wirklich fand man, daß Flintenſteine, welche von einem Lavaſtrome eingehüllt wurden, an der Oberfläche geſchmolzen und verglaſet, und daß Stücke Eiſen im Inneren kryſtalliſirt waren. Außer den hier erwähnten Stoffen werfen die Vulcane noch Ströme heißen Waſſers aus; vorzüglich verbreiten die amerikaniſchen Vulcane oft dadurch Ueberſchwemmungen rings umher. Ein Theil dieſes Waſſers mag auch wohl vom geſchmolzenen Schnee kommen, der die Gipfel mancher Vulcane bedeckt. Alle dieſe Erſcheinungen finden bei einigen vulcaniſchen Ausbrüchen Statt, während ſich bei anderen nur einige derſelben ereignen. So haben die Vulcane in Amerika Cotopaxi, Pichincha, Turgurahua ſeit Menſchengedenken keine wahre Lava ausgeworfen, wiewohl ſie dieſes ehemals gethan haben mögen, weil ſich in ihrer Nähe Lava befindet, ſondern bloß Aſche, Schlacken und Steine, Waſſer und Schlamm, wahrſcheinlich, weil ſich die Lava nicht bis zu ihrem Krater erheben und die ungeheuer dicken Seitenwände nicht ſchmelzen kann; die Vulcane in Peru und Quito verheeren das Land überhaupt immer nur durch Waſſer- und Schlammauswürfe. Dieſe Wäſſer führen ſogar manchmal lebendige Fiſche von derſelben Art, wie ſie in den benachbarten Bächen leben. Der Vulcan von Macaluba bei Girgenti wirft nur Thon und Waſſer aus; dasſelbe thun auch einige Vulcane in der Umgebung von Modena, auf den Inſeln Tamom, Java ꝛc.

142. Die Ruhezeit eines Vulcans ſcheint im Allgemeinen mit der Höhe ſeines Kraters im geraden Verhältniſſe zu ſtehen. So brennt der niedere Stromboli faſt immer, ſeltener geſchehen Ausbrüche des höheren Veſuvs, noch ſeltener die des noch höheren Aetna. Der hohe Pick auf Teneriffa hatte in 92 Jahren nur einen Ausbruch, während der Veſuv 16mal wüthete. Allein die Zeit von einem Ausbruche zum andern iſt bei demſelben Vulcane keineswegs immer dieſelbe, oft folgen mehrere Ausbrüche ſchnell auf einander, oft unterbleiben ſie ungewöhnlich lange. So ſchlummerte der Veſuv ſeit undenklichen Zeiten, als er unter Titus plötzlich wieder erwachte, und die Städte Pompeji, Herculanum und Stabiä vergrub. Die Bewohner von Catanea hielten die Ausbrüche des Aetna, wovon die Geſchichte erzählte, für Fabel, bis ſie durch einen Ausbruch, der ihre Stadt zerſtörte, die traurige Ueberzeugung vom Gegentheile gewannen. Ueberhaupt iſt die Ruhe eines Vulcans meiſtens nur ſcheinbar; denn wenn auch keine größeren Kataſtrophen erfolgen, ſo geht es doch im Inneren ſehr thätig zu, es ſteigt Rauch auf, man hört ein inneres Getöſe ꝛc. Es ſcheint im Ganzen die vulcaniſche Thätigkeit der Erde im Abnehmen zu ſeyn.

Merkwürdig iſt, was Spallanzani vom Aetna erzählt, in deſſen Krater er im Jahre 1788 hineingehen konnte, weil derſelbe ganz ruhig war. Er bemerkte in der Tiefe eine Oeffnung von etwa 30 Fuß, aus der ſich eine Rauchwolke erhob, er ſah, als der Wind dieſe Wolke ſeitwärts trieb, in der Tiefe der Oeffnung eine flüſſige entzündete Maſſe, die immer leicht aufwallte, fiel und ſtieg. Auf dem Gipfel des Stromboli ſah er gar die Bewegungen der Lava ſehr deutlich. Sie glich geſchmolzener Bronze, ſank und ſtieg, und wurde an der Oberfläche von großen Blaſen aufgebläht, die beim Zerplatzen ein Donner ähnliches Geräuſch machten.

143. Die vulcaniſchen Herde müſſen im Inneren der Erde von ſehr beträchtlichem Umfange ſeyn. Dieſes beweiſt die ungemeine Menge der Stoffe, die oft bei einer einzigen Eruption hervorgetrieben wird, und der Umſtand, daß die meiſten Vulcane aus vulcaniſcher Maſſe beſtehen. So floß aus dem Aetna i. J. 1699 ſo viel Lava hervor, daß daraus vier Veſuve hätten gebildet werden können, die Aſche gar nicht mitgerechnet. Es iſt auch ſehr wahrſcheinlich, daß die Werkſtätte der meiſten Vulcane mit einander in Verbindung ſtehen; denn oft treffen ihre ſonſt nicht ſo häufigen Ausbrüche zugleich ein, und manchmal wechſeln entfernte Vulcane mit einander ab. So brachen i. J. 1769 der Aetna und mit ihm zugleich die Vulcane auf den lipariſchen Inſeln aus, die Vulcane Islands und Kamtſchatkas tobten oft zugleich, und i. J. 1693 verſank im großen indiſchen Ocean die Inſel Sorca in Folge eines Ausbruches des dortigen Vulcans an demſelben Tage, an welchem der Aetna am furchtbarſten wüthete. Der Hekla und Veſuv wechſeln oft mit einander ab.

144. Daß bei den Phänomenen der vulcaniſchen Ausbrüche expanſible ſtark erhitzte Maſſen hauptſächlich thätig ſind, daran iſt kaum

zu zweifeln; daß unter dieſen wieder die Waſſerdämpfe eine große Rolle ſpielen, zeigt das Hervordringen derſelben aus den Schlünden der Vulcane, und der Umſtand, daß es wohl im Inneren der Erde, beſonders in ſo großer Tiefe, wo ſich der vulcaniſche Herd befinden mag, an Waſſer nicht gebrechen kann, ohne daß dazu gerade die Nähe des Meeres nöthig iſt. Allein es handelt ſich vorzüglich darum, wodurch die Erhitzung entſtehe, welche Dämpfe und eingeſperrte Luftarten erzeugt, und das innere Geſtein eines Vulcans ſchmilzt. Die äußere Luft kann keinen weſentlichen Antheil daran nehmen, weil dieſe da nicht eindringen kann, wo ſo ſtark condenſirte Gasarten mit ſolcher Gewalt hervorkommen. Nach dem jetzigen Standpuncte der Naturlehre kann dieſe Erhitzung erklärt werden: 1) durch die innere elektriſche Thätigkeit der Erde, vorzüglich durch jene, welche die Berührung ihrer ungleichartigen Beſtandtheile erzeugt; 2) durch chemiſches Einwirken der Stoffe auf einander, beſonders des Waſſers und der metalliniſchen Grundlagen der Erden, welche im Inneren der Erde wahrſcheinlich noch im reinen Zuſtande vorhanden ſind. 3) Kann ſich die Erde noch von der Urzeit her in ihrem Inneren im flüſſigen, geſchmolzenen Zuſtande befinden. Eine elektriſche Thätigkeit im Inneren der Erde von ſolcher Intenſität, wie ſie zu den hier in Rede ſtehenden Phänomenen erfordert wird, dürfte ſich wohl ſchwerlich nachweiſen laſſen; eine Entzündung brennbarer Maſſen (z. B. der Schwefelkieſe) im Inneren der Erde durch chemiſche Wirkung reicht nicht aus zur Erklärung aller bei vulkaniſchen Ausbrüchen vorkommenden Phänomene, wo die Feuererſcheinungen bei weitem nicht die Hauptſache ſind; es iſt nicht begreiflich, wie der innere metalliſche Erdkern immer noch mit Waſſer in Berührung kommen kann, da doch die einmal gebildete Orydrinde den Zutritt deſſelben hindern muß. Demnach bleibt nur die dritte Urſache übrig, und aus dieſer laſſen ſich in der That alle vulcaniſchen Erſcheinungen vollkommen erklären. Gelangt nämlich Waſſer in jene Tiefen der Erdrinde, wo Glühhitze herrſcht, ſo geht es in ſehr expanſible Dünſte über, und wirkt auch auf die daſelbſt befindlichen orydirbaren Körper (z. B. Eiſen), es wird zerſetzt, ſein Waſſerſtoff nimmt Gasform an, und dieſes Gas, ſo wie jene Dämpfe, ſind das Hauptagens bei den vulcaniſchen Eruptionen gerade ſo, wie ſie es bei Pulvererploſionen ſind. (Ueber Vulcane ſiehe: Hamilton's Beobachtungen über den Veſuv, den Aetna und über andere Vulcane, aus d. Engl. Berlin 1763. Deſſelben neuere Beobachtungen über die Vulcane Italiens und am Rhein. Frankfurt und Leipzig 1783. Dolomieu, Reiſe nach den lipariſchen Inſeln. Aus d. Franz. Leipzig 1783. Spallanzani, Reiſe nach den beiden Sicilien. Leipzig 1795. D'Aubuiſſon's Geognoſie. Dresden 1821. I. Bd. S. 150 u. f. Ueber den Bau und die Wirkungsart der Vulcane von A. Humboldt. Berlin 1823. *Scrope on the volcanos. London* 1825. Buch in Pogg. Ann. 10. 169. Davy in Zeitſchr. 5. 222.)

145. Mit den Ausbrüchen der Vulcane ſtehen die Erdbeben

in Verbindung. Dieſe ſind horizontale, zuweilen wirbelnde Schwingungen des Bodens, die in unbeſtimmten Zwiſchenräumen nach verſchiedenen Richtungen, mit großer aber meßbarer Geſchwindigkeit geſchehen, und oft von ſtarken, ſenkrecht in die Höhe gehenden Stößen begleitet ſind. Dabei ſpaltet ſich oft mit einem unterirdiſchen Getöſe die Erde, es dringen Waſſer und entzündete, ſchwefelig riechende Dämpfe hervor, das Meer und die Atmoſphäre werden unruhig, Gebäude ſtürzen ein und begraben die unglücklichen Bewohner unter ihren Trümmern, neue Seen werden gebildet, alte ausgetrocknet, Berge aus dem Meere und auf dem flachen Lande in die Höhe getrieben, ſchon vorhandene verſchlungen, und ſo ganze Gegenden verwüſtet und umgeſtaltet. Die Erdbeben ſind an keine Jahres- oder Tageszeit gebunden, ſie ereignen ſich in kalten und warmen, naſſen und trockenen Jahren, und bei jedem Alter des Mondes. Meiſtens ſieht man plötzliche Stürme, große Unruhe des Meeres und der Seen, unregelmäßiges Fließen der Quellen, ein dumpfes unterirdiſches Getöſe, Unruhe der Thiere, trübe Beſchaffenheit der Luft als Vorboten dieſes traurigen Ereigniſſes an, doch kann man keines von allen dieſen für ein untrügliches Vorzeichen halten, weil ſie eintreten, ohne daß ein Erdbeben darauf erfolgt und manche Erdbeben ohne ſie erfolgen. — Die Urſache der Erdbeben iſt gewiß dieſelbe, welche in Vulcanen vorzüglich und zwar concentrirt thätig iſt. Es iſt aber nicht nöthig, anzunehmen, daß überall, wo man Stöße verſpürt, die Urſache der Erdbeben unmittelbar wirke, indem ſich die Erſchütterungen nach Art des Schalles fortpflanzen können. (Kries, von den Urſachen der Erdbeben. Gekrönte Preisſchrift. Leipzig 1826.)

146. So wirkſam auch die bisher beſprochenen, auf beſtändige Veränderung der Erdoberfläche hinarbeitenden Kräfte ſind, und wie ſehr ſich auch durch die Länge der Zeit ihre Wirkungen anhäufen mögen; ſo können wir doch daraus nicht alle Umwälzungen der Erde ableiten, von denen uns die gegenwärtige Beſchaffenheit der Erdrinde die unumſtößlichſten Beweiſe liefert. Wie ausgedehnt, hoch und anhaltend müßten jene Ueberſchwemmungen geweſen ſeyn, von welchen Conchylien und andere Waſſerthiere in mehrere Fuß hohen Lagern auf den Gipfeln der höchſten Berge abgeſetzt wurden, wie oft müßten ſich derlei Ueberſchwemmungen wiederholt haben, wenn von ihnen ſo viele, durch fremdartige Zwiſchenlager getrennte Ablagerungen organiſcher Reſte herrühren ſollten, und wie wäre es begreiflich, daß ſich hie und da an höheren Stellen mehr derlei Abſätze gebildet haben, als an tiefer liegenden? Es gibt uns aber der Bau der Erde ſelbſt den Fingerzeig, wo wir die Quelle ſo umfaſſender Veränderungon derſelben zu ſuchen haben. Die abgerundete, am Aequator durch die Schwungkraft herausgetriebene Geſtalt der Erde beweiſet hinreichend, daß ſich dieſelbe einſt in einem flüſſigen Zuſtande befunden habe, und die kryſtalliniſche Beſchaffenheit der unterſten bekannten Lagen der Erdrinde, ihr Eindringen zwiſchen andere Gebirgsarten ꝛc., zeugen für den Urſprung derſelben aus einer geſchmolzenen Maſſe, und begründen die

Annahme, der flüſſige Zuſtand ſey nicht durch Einwirkung eines chemiſchen Auflöſungsmittels, ſondern durch Hitze hervorgebracht worden. Damit ſtimmt auch die (ſpäter weiter anzuführende) Erfahrung vollkommen überein, daß noch gegenwärtig die Erde eine ihr eigenthümliche Temperatur beſitze, welche von außen gegen innen zunimmt, und berechtiget zu der weiteren Folgerung, daß ſich der Erdkern noch gegenwärtig in einem geſchmolzenen Zuſtande befinde, und nur mit einer feſten Kruſte überzogen ſey. Im geſchmolzenen Zuſtande mußte wohl die Erde ohne Erhöhungen und Vertiefungen ſeyn, und das etwa auf ihr befindliche Waſſer konnte bei ſo hoher Temperatur nur unter einem mächtigen Drucke beſtehen, zu deſſen Erzeugung die vorhandene heiße Dunſtmaſſe ſelbſt das Meiſte beitragen konnte. So wie aber der Proceß des Feſtwerdens begann, mußten ſich durch den Kryſtalliſationsproceß Erhöhungen, mithin auch Vertiefungen bilden, wie wir dieſes an geſchmolzenen, geſtehenden Maſſen ſo häufig im Kleinen bemerken. Somit liegt der Grund zur Entſtehung der Unebenheiten der Erde im Abnehmen ihrer Temperatur.

147. Die Beſchaffenheit, Lagerungsweiſe, Menge und Mannigfaltigkeit der in normalen Felsgebilden vorkommenden, organiſchen Ueberreſte und die Lagerung der Schichten dieſer Formationen zeigen deutlich, daß hier mehr als ein ruhiges Abſetzen aus Waſſer im Spiele geweſen ſey. Die Schichten dieſer Gebirge befinden ſich in ebenen Gegenden in faſt horizontaler Lage, in der Nähe von bergigen Gegenden liegen dieſe Schichten geneigt, an den Abhängen der Berge beinahe oder völlig vertical. Wären ſolche Schichten in verticaler Lage vom Waſſer abgeſetzt worden, etwa ſo, wie ſich noch heut zu Tage Stalactiten an verticalen Wänden aus Waſſer abſchneiden; ſo müßten dieſe Lagen, wenn ſie an zwei Bergen vorhanden ſind, in allen Zwiſchenpuncten in gleicher Höhe gefunden werden. Dieſes iſt aber nicht der Fall. Die Kalkſchichten des hohen Buet in Savoyen und des Montperdu ſind gleichzeitige Formationen mit jenen an den Küſten des Canals, und doch erſtrecken ſich ſolche Formationen im nördlichen Frankreich nicht über 600 F. Ferner liegen nach Sauſſure's Beobachtungen die eiförmigen Kieſelgeſchiebe, welche ſich oft in den Flötzgebirgen befinden, dort wo die Schichten eine horizontale Lage haben, ſtets ſo, daß ihre große Axe horizontal iſt, mithin in ihrer ſtabilſten Lage; wo aber die Erdſchichten geneigt ſind, da ſind auch die großen Axen aller Geſchiebe, welche in der Richtung dieſer Neigung liegen, eben ſo geneigt, und nur jene trifft man noch mit der großen Axe in horizontaler Lage an, bei denen dieſe Axe mit der Ebene der Neigung einen rechten Winkel macht. Dieſe Gründe machen es höchſt wahrſcheinlich, daß ſelbſt, nachdem die Erdkruſte ſchon gebildet war, noch durch den fortgeſetzten Erſtarrungsproceß neue Berge aus dem Inneren der Erde emporgeſtiegen ſeyen und die Kruſte durchbrochen haben, ja daß ſolche Emporhebungen noch gegenwärtig Statt finden. Nach Pöppig ſah man in der Südſee im Jahre 1825 einen ſchwarzen, vegetationsleeren Fels, der einige Fuß über das Waſſer hervorragte. Er beſtand aus

einem breiten Ringe von 800 Schritt Durchmeſſer, der in der Mitte einen kleinen Teich hatte; aus mehreren Riſſen des Ringes ſtieg Rauch, das Waſſer war in der Nähe heiß, und ſelbſt noch in der Entfernung von 4 engl. Meilen um 10—15° F. wärmer als anderwärts in gleicher Breite. Der Krater fiel ſo ſchnell ab, daß man ſchon bei 100 Faden Entfernung keinen Grund mehr finden konnte. Auf der flachen und fruchtbaren azoriſchen Inſel St. Maria fand man nach Jahresfriſt alles umgeworfen und zerſtört, und ſtatt der Fläche einen 2000 F. hohen Berg, mit einem Krater von 15 engl. Meilen im Durchmeſſer. Im Krater von Aſtruin erheben ſich gegen 200 F. hohe Hügel aus Trachyt ohne Lava, feſt und zuſammenhängend. Der Boden des Kraters von Santorin erhebt ſich von Jahr zu Jahr mehr, und iſt jetzt ſchon der Meeresfläche nahe, während er früher über 600 F. unter derſelben lag. Dieſe Krater ſind aber keine Vulcane, und ſelbſt die der jetzt noch thätigen Vulcane können nicht durch Anhäufen von Lavaſtrömen entſtanden, ſondern müſſen Erhebungskrater ſeyn, weil bei denſelben die Lava eine zuſammenhängende, nur hie und da durch Klüfte unterbrochene Maſſe bildet, und nach Buch und Beaumont's Meſſungen Laven einen ſolchen Zuſammenhang nur behalten, wo ſie über einen unter $4^1/_2{}^\circ$ geneigten Abhang fließen. Die Hypotheſe der Emporhebung hat ſo viel innere Wahrſcheinlichkeit, und wird von ſo vielen äußeren Gründen unterſtützt, daß ſie gegenwärtig faſt allgemein von Geologen angenommen wird. Man kann daraus nicht bloß das Vorkommen dicker Muſchellagen auf den Gipfeln der höchſten Berge leicht begreifen, da dieſe einſt tief liegender Meeresboden waren, ſondern auch das relative Alter der einzelnen Gebirge nachweiſen, wie dieſes Beaumont mit Glück an vielen Gebirgen gethan hat. Denn es iſt klar, daß ſolche Emporhebungen zu verſchiedenen Zeiten eingetreten ſeyn können, und daß jene Flötzgebirge, deren Schichten an den Abhängen der Gebirge nicht in horizontaler Lage vorkommen, bei der Erhebung der Gebirge ſchon vorhanden waren, mithin älter ſeyen als dieſe; jene aber, die ſich in horizontaler Lage bis zum Fuße der Gebirge erſtrecken, müſſen von jüngerer Bildung ſeyn, als die Gebirge. Dieſen Kriterien gemäß ſind das ſächſiſche Erzgebirg, der Côte d'Or in Burgund, und der Mont Pilas in Forez unter den von Beaumont unterſuchten Gebirgen die älteſten; weit jünger iſt das Bergſyſtem der Pyrenäen und Apenninen, noch jünger jenes der öſtlichen Alpen mit dem Montblanc. Der Hauptgebirgsſtock der Alpen, mehrere Ketten der Provence, der Balkan, der Caucaſus, die Himalayagebirge und der Atlas ſind viel ſpäteren Urſprunges. Merkwürdig iſt es, daß die gleichzeitig entſtandenen Gebirge ſtets in einem größten Kreiſe der Erde liegen, und daß demnach auch die Puncte des kleinſten Widerſtandes dieſelbe Lage haben mußten. Dieſen Umſtand benützte Beaumont, um darnach das Alter jener Gebirgsketten zu beſtimmen, an denen er den Prüfſtein des oben angegebenen directen Kennzeichens ihres Alters nicht anlegen konnte, und ſo iſt er dahin gelangt, dreizehn einzelne Emporhebungen an-

zunehmen. (Humboldt in Pogg. Ann. 25. 1; v. Buch ebend. 37. 169.)

148. Noch keine der in ungeheurer Anzahl aufgeſtellten geologiſchen Hypotheſen hat ſich ſo reich an leichten und naturgemäßen Folgerungen dargeſtellt, wie die eben genannte. Es iſt klar, daß die Emporhebung eines Gebirges aus dem Inneren der Erde deſto mehr Kraft fordern, aber auch ein deſto größeres Product liefern müſſe, je dicker die bereits gebildete Erdkruſte zur Zeit dieſer Kataſtrophe war, mithin je ſpäter ſich dieſelbe ereignete, und in der That ſind die jüngeren Gebirge auch die höchſten. Daß bei ſolchen Ereigniſſen ein vielfaches Berſten und eine Theilung der emporgehobenen Maſſen eintreten mußte, iſt nicht zu bezweifeln, und daher mögen viele Thäler ihren Urſprung haben. Man braucht nun nicht mehr zu fragen, wie denn die im Jura angetroffenen Granitſtücke von den Alpen durch das Thal der Aar an ihren jetzigen Platz kommen konnten; denn das Juragebirge iſt jünger als die Alpen und das Thal der Aar. Daß an der Stelle ſolcher gewaltiger Naturereigniſſe Thiere ſchnell und in Maſſe zu Grunde gehen mußten, iſt leicht zu errathen, und daraus begreift man wohl, warum man ganze Neſter von Thieren in Lagen antrifft, die deutlich zeigen, daß dieſelben eines ſchnellen Todes geſtorben ſeyen, wie z. B. Fiſche, die ganz ausgeſtreckt, oft noch den Raub feſthaltend oder mit der jüngſt verſchlungenen Beute im Magen, angetroffen werden. Erhebungen des feſten Landes aus dem Meere mußten nothwendig das Gleichgewicht des Waſſers ſtören, weit ausgedehnte Ueberſchwemmungen hervorbringen, und hiermit mittelbar die Wirkungen erzeugen, welche mit Ueberſchwemmungen ſtets verbunden ſind. Daß die mit der fortſchreitenden Erkältung der Erde nothwendig verbundene Rückkehr des bei ihrer urſprünglich hohen Temperatur in Dämpfe verwandelten Waſſers zu ähnlichen Kataſtrophen den Grund legen konnte, iſt einleuchtend.

Folgende Werke können zu einem ausführlichen Unterrichte in dieſem Abſchnitte dienen:

(Phyſiſche Erdbeſchreibung von Mitterbacher. Wien 1750. Kant's phyſiſche Geographie. Königsberg 1802. Bode's Kenntniß der Erdkugel. Berlin 1820. Förſter's Einleitung in die allgemeine Erdkunde. Berlin 1820. Allgemeine phyſikaliſche Erdbeſchreibung, von Hochſtetter. Stuttgart 1823. Band 2 und 3. Gemälde der phyſ. Welt von J. G. Sommer. Prag 1818—1825. Phyſikaliſche Geographie von Fr. Hoffmann. Berlin 1837. Gehler's Wörterb. neu bearb. Artikel: Erde (Erdkruſte). Lehrbuch der mathem. u. phyſ. Geographie von Dr. J. C. Schmidt. 2 Bde. Göttingen 1830. Handbuch der mathematiſchen und phyſiſchen Geographie nebſt Atmoſphärologie von Dr. G. W. Muncke. Heidelberg 1830. Handbuch der phyſikaliſchen Erdbeſchreibung von H. H. Link. Berlin 1826. Geſchichte der natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche von Hoff. Gotha 1822. *De la Metherie leçons de Géologie. Paris* 1816.

Bakewell Einleitung in die Geologie ꝛc. Freiberg 1815. Reichetzer Anleitung zur Geognoſie. Wien 1821. D'Aubuiſſon Geognoſie. Dresden 1821. Neues Syſtem der Geologie, von A. Ure 1830. *Elémens de Géologie par J. D'Omelius d'Halloy. Paris* 1831. *A. Geological Manual by H. De la Bêche. London* 1831. Ins Deutſche überſetzt von Dechen, unter dem Titel: Handbuch der Geognoſie von *De la Bêche.* Berlin 1832. *A System of Geology by J. Macculloc. London* 1831. *Principles of Geology by Ch. Lyell. London* 1830. Grundzüge der Geologie und Geographie von K. R. Leonhard. Heidelberg 1839. Die Phänomene der Geologie von Dr. G. Mantell. Aus dem Engliſchen. Bonn 1839. Geſchichte der Geognoſie von Fr. Hoffmann. Berlin 1838.)

Dritter Abſchnitt.

Meteorologie.

149. Die Atmoſphäre unſerer Erde iſt beſtändig inneren Bewegungen und Veränderungen unterworfen, unaufhörlich wird das Gleichgewicht in ihr geſtört, weil bald dort, bald da Aenderungen in der Temperatur und im Drucke der Luft eintreten, und durch die ununterbrochen vor ſich gehenden chemiſchen Prozeſſe, ſo wie durch das Leben der Thiere und der Pflanzen die Beſtandtheile der Atmoſphäre beſtändig geändert werden, mithin immer neue Ausgleichungen nöthig ſind. Dazu kommen noch diejenigen Erſcheinungen im Luftkreiſe, welche durch das Licht, die Elektricität und vielleicht auch durch manche, unſeren phyſikaliſchen Laboratorien ganz fremde Thätigkeiten hervorgebracht werden. Dieſe Phänomene folgen bald ganz regelmäßig, bald ohne erkennbare Regelmäßigkeit mit verſchiedenem Grade der Geſchwindigkeit auf einander, und machen zuſammen die Witterung, oder, wie man zu ſagen pflegt, das Wetter aus. Die Erſcheinungen des Luftkreiſes auf erkannte Naturgeſetze zurückzuführen, iſt der eigentliche Gegenſtand der Meteorologie, die man ja nicht mit der Meteorognoſie (Meteoromantie) oder der Kunſt, die Witterung vorherzuſagen, verwechſeln darf. Von letzterer kennen wir kaum mehr als einige wenige Fragmente, die ſich überdieß meiſtens nur auf einzelne Gegenden beziehen.

Erſtes Kapitel.

Von der Atmoſphäre und ihren Veränderungen überhaupt.

150. Es iſt eine natürliche Folge der Schwere und Ausdehnſamkeit der Luft, daß ſie die Erde ringsum wie eine Schale einhülle und ſich bis zu einer Höhe erſtrecke, wo jedes ihrer Theilchen eben ſo von einem zunächſt darunter befindlichen abgeſtoßen werde, als es ſelbſt durch ſeine Schwere zur Erde herabgezogen wird. Hätte die Atmoſphäre allenthalben einerlei Temperatur, ſo würde die Luft in gleichen Entfernungen von der Erde Mittelpunct eine gleiche Dichte und Expanſivkraft beſitzen, und ihre äußerſte Begrenzung eine dem Erdkörper nahe ähnliche Geſtalt haben. Die ungleiche Vertheilung der Wärme in der Atmoſphäre bewirkt aber namhafte Abweichungen von dieſem

Verhalten. Dort, wo die Temperatur höher iſt, muß auch die ganze Luftſäule höher ſeyn, und da im Allgemeinen die Temperaturen vom Aequator der Erde gegen die Pole zu abnehmen, ſo muß auch ſchon darum die Höhe der Atmoſphäre gegen die Pole hin geringer werden und die äußerſte Grenzfläche der Atmoſphäre ein noch mehr abgeplattetes Sphäroid vorſtellen als die Erde ſelbſt; ja da, wie die Folge lehren wird, die Wärmeverhältniſſe der ſüdlichen Halbkugel von denen der nördlichen ziemlich ſtark abweichen, ſo muß auch der Luftkörper über der ſüdlichen Hemiſphäre eine andere Geſtalt haben, als über der nördlichen.

151. Um die Geſtalt der Lufthülle näher zu beſtimmen und die Höhe der Atmoſphäre an irgend einer Stelle der Erde angeben zu können, müßte man nicht bloß die Temperatur der Luft an der Erdoberfläche, ſondern auch in der ganzen Luftſäule kennen. Letztere Kenntniß kann man ſich begreiflicher Weiſe nicht auf dem Erfahrungswege verſchaffen, aber man hat, um ſie erſchließen zu können, das Geſetz geſucht, nach welchem die Temperatur der Luft von unten nach oben abnimmt. Bis jetzt iſt man noch zu keinem ganz befriedigenden Reſultate gelangt, aber es hat den Anſchein, als wenn für Abſtände von der Erdoberfläche, welche Glieder einer arithmetiſchen Reihe ſind, die Temperaturen Glieder einer geometriſchen Progreſſion wären. Legt man dieſes Geſetz zu Grunde und nimmt mit Schmidt an, es ſey in einer Höhe von 121,1 Toiſen die Temperatur um 1° R. geringer als an der Erdoberfläche; ſo findet man an der Stelle der Erde, wo für den Barometerſtand von 337,3 P. L. die Temperatur 22°,4 R. beträgt, wie dieſes unter dem Aequator der Fall iſt, die Höhe der Atmoſphäre = 27,5 geogr. Meilen; für jene Stellen hingegen, wo bei demſelben Barometerſtande die Temperatur 0° R. herrſcht, dieſe Höhe = 27,1 geogr. Meilen. (Schmidt in Gilb. Ann. 62. 309. Zeitſchr. 8. 420.)

152. Wären die Wärmeverhältniſſe in der Atmoſphäre unverändert dieſelben, und unterläge die atmoſphäriſche Luft ſelbſt keinen materiellen Veränderungen; ſo wäre nicht einzuſehen, wie ſich an einem Orte die Dichte oder Expanſivkraft der Luft ändern könnte; allein die immerwährend Statt findenden materiellen Veränderungen, noch mehr aber die Aenderungen der Temperatur verurſachen beſtändige Störungen des Gleichgewichtszuſtandes, ändern beſtändig ſtellenweiſe die Expanſivkraft, Dichte und den Druck der Luft, und erzeugen ſelbſt an der Oberfläche der Atmoſphäre ein immerwährendes Wogen. Die Hauptbeſtandtheile der atm. Luft, das Sauerſtoff- und Stickgas weiſen ſich ſelbſt nach den neueſten und ſorgfältigſten Unterſuchungen von Bouſſingault immer mit 0,21 Sauerſtoffgas und 0,79 Stickgas dem Volum nach, und mit 0,23 Sauerſtoff und 0,77 Stickſtoff dem Gewichte nach aus. Doch können ſelbſt die ſorgfältigſten Experimentatoren mit den beſten jetzt bekannten Inſtrumenten nicht mehr $\frac{1}{10}$ Volumpercent verbürgen, und alles, was innerhalb dieſer Grenze vor ſich geht, iſt für uns ſo viel wie nicht vorhanden. Wir wiſſen, daß das Waſſer aus

der Atmoſphäre ein Drittel mehr Sauerſtoff abſorbirt als Stickgas, daß Menſchen und Thiere fortwährend Sauerſtoffgas beim Athmen conſumiren, daß gährende und im Verbrennen begriffene Stoffe dieſes Gas aufnehmen, während wir nur eine einzige im Großen wirkſame Quelle von Sauerſtoffentwicklung kennen, nämlich den Lebensproceß der Pflanzen, vermöge welchem ſie Kohlenſäuregas einſaugen und dafür Sauerſtoffgas von ſich geben. Alle dieſe Veränderungen in der Zuſammenſetzung der atm. Luft müſſen demnach innerhalb die oben angegebenen Grenzen fallen, weil wir ihren Einfluß nicht bemerken.

Ein Menſch verzehrt nach Lavoiſier in 24 St. 45000 Par. Kubikzoll oder 26,04 K. F., mithin in 1 Jahr 9505 K. F. Sauerſtoffgas; das ganze Menſchengeſchlecht zu 1000 Millionen Menſchen angeſchlagen, nimmt demnach in einem Jahre nicht mehr als 0,7975 K. Meilen dieſes Gaſes in Anſpruch. Dieſes gäbe aber in der ganzen Atmoſphäre nur eine 0,282 L. hohe Schichte; $^1/_{10}$ p. C. der ganzen Atmoſphäre könnte das ganze Menſchengeſchlecht durch 10000 Jahre mit Sauerſtoff verſorgen.

153. Außer den eben erwähnten, ſcheinbar unwandelbaren Beſtandtheilen enthält die Atmoſphäre noch mehrere andere untergeordnete und in hohem Grade veränderliche Stoffe, nämlich Waſſerdunſt, Kohlenſäuregas, Ammoniakgas, nach Umſtänden auch ſogar Spuren von Salzſäure, Salpeterſäure und Kohlenwaſſerſtoff. Waſſerdunſt wird fortwährend gebildet und wieder in tropfbaren Zuſtand zurückgeführt und ſomit ſowohl der abſolute als der relative Feuchtigkeitszuſtand der Luft immerfort geändert. Nicht anders geht es mit dem Gehalte an Kohlenſäuregas. Dieſes wird durch das Athmen der Menſchen und Thiere, durch das Verbrennen der Vegetabilien, durch Gährung und andere chemiſche Proceſſe erzeugt, und von den Pflanzen zum Behufe von Abſonderung des Kohlenſtoffes und Ausſcheidung von Sauerſtoff aufgenommen. Dieſes Gas iſt wegen ſeiner großen Dichte nicht einer ſchnellen Verbreitung fähig, und häuft ſich daher leicht an dem Entſtehungsorte unverhältnißmäßig an. Der Gehalt der Atmoſphäre an dieſem Gaſe beträgt durchſchnittlich nach Th. Sauſſure 0,0415 p. C. dem Volumen, oder 0,0632 p. C. dem Gewichte nach, ſteigt aber an trockenen Tagen und ſinkt an feuchten, iſt größer bei windigem Wetter, auf Bergen und über feſtem Land, als bei windſtillem Wetter und im flachen Lande oder über Waſſer. Die Fäulniß thieriſcher Körper liefert fortwährend Ammoniak, ja alle thieriſchen Körper geben zuletzt ihren geſammten Stickſtoff in dieſer Form an die Atmoſphäre ab. Das in der Luft enthaltene Waſſer nimmt das Ammoniak auf, und fällt mit demſelben in Form von Regen oder Schnee herab, aus dem Regen- und Schneewaſſer verdampft aber ein Theil Ammoniak wieder von neuem. Man kann es wegen ſeiner geringen Menge in der Luft nicht entdecken, im Regenwaſſer aber, das man mit Zuſatz von Schwefelſäure oder Salzſäure zur Trockne abgedampft hat, läßt es ſich unbezweifelt nachweiſen, wie Liebig zuerſt gezeigt hat.

Die Luft iſt ſelten wegen Mangel an Sauerſtoff, ſondern meiſtens wegen Anweſenheit anderer irreſpirabler Gaſe erſtickend. Man prüft ſie an verdächtigen Orten dadurch, daß man ein Licht an einer Stange vor ſich herträgt, und ſich durch das Erlöſchen deſſelben an die Rückkehr mahnen läßt, doch ſichert dieſes nicht immer vor Unglück; denn lichtverlöſchend und unathembar ſind zwei ſehr verſchiedene, nicht immer gleichzeitig vorhandene Eigenſchaften. Es gibt Luftarten, in denen die Lichter vorzüglich brennen und doch Menſchen erſticken, und andere, in denen kein Geleuchte brennt, aber Menſchen leben können; glücklicher Weiſe kommen aber die erſteren ſeltener vor, als die letzteren. Atmoſphäriſche Luft kann $\frac{1}{10}$ Kohlenſäuregas dem Volum nach enthalten, ohne ſchädlich zu werden, $\frac{1}{250}$ſtel Volum Schwefelwaſſerſtoffgas der atm. Luft beigemengt, tödtet nach Dupuytren ſchon in einer Minute ein Pferd, $\frac{1}{833}$ſtel einen Hund von mittlerer Größe, $\frac{1}{1500}$tel einen Vogel auf der Stelle. Thenard empfiehlt darum auch dieſes Gas zum Vertilgen ſchädlicher Thiere (*Ann. de Chim.* 49. 457. Ueber die unterirdiſchen Gasarten ꝛc. von A. v. Humboldt. Braunſchweig 1799.)

154. Die weſentlichen Beſtandtheile der atm. Luft ſowohl als die bloß zufälligen, mehr veränderlichen, bilden nicht eine chemiſche Verbindung, ſondern nur ein mechaniſches Gemenge. Hiemit ſtimmen ſowohl das ſpec. Gewicht, das Lichtbrechungsvermögen, die Wärmecapacität der Luft, als alle anderen Eigenſchaften überein. Demnach bildet jeder einzelne Beſtandtheil eine eigene Atmoſphäre um die Erde, welche unabhängig von jener der übrigen Beſtandtheile beſteht. Gäbe es in der Atmoſphäre vollkommene Ruhe, ſo müßte die Luft in verſchiedenen Höhen auch eine verſchiedene Zuſammenſetzung haben, allein die beſtändigen Bewegungen, beſonders die faſt immer vorhandenen, aufwärts gerichteten Strömungen laſſen eine ſolche Verſchiedenheit nicht aufkommen, wornach alſo auch Verſuche über die Zuſammenſetzung der Luft in großen Höhen weder für noch gegen die mechaniſche Verbindung der Luftbeſtandtheile etwas beweiſen.

Zweites Kapitel.

Wärmeverhältniſſe auf der Erde und in der Atmoſphäre.

155. Die meiſten und wichtigſten Veränderungen in der Atmoſphäre haben in den Wärmeverhältniſſen ihre letzte Wurzel und können nicht in ihrem Zuſammenhange erkannt werden, ohne mit dieſen Verhältniſſen vertraut zu ſeyn. Eben dieſe haben aber auch auf den Haushalt im Reiche der Organismen einen ſehr bedeutenden Einfluß, und ſomit erſcheint die Vertheilung der Wärme in und auf der Erde und in der Atmoſphäre als eines der wichtigſten Objecte der wiſſenſchaftlichen Betrachtung des Phyſikers. Die Hauptquelle der Wärme auf der Erde und in der Atmoſphäre iſt die Sonne, indem ſie der Erde zugleich mit den Lichtſtrahlen Wärmeſtrahlen zuſendet. Dieſe müſſen

aber, bevor ſie zur Erde gelangen, erſt die Atmoſphäre durchfahren, wo ſie wegen der unvollkommenen Diathermanität der Luft eine Schwächung durch Abſorption erleiden, und darum mit geringerer Intenſität zur Erde gelangen. Daſelbſt wirken ſie aber wieder nur in dem Maße erwärmend, als ſie von der Erde abſorbirt werden, und daher kommt es, daß die Erwärmung der Erde und der Luft durch die Sonne vom Stande der letzteren, d. h. von der größeren oder geringeren Dicke der zu durchfahrenden Luftſchichte, von dem mehr oder weniger ſchiefen Einfall der Strahlen auf die irdiſchen Gegenſtände und von der abſorbirenden Kraft dieſer abhängt. Den größten Einfluß auf die Größe der Erwärmung hat der Stand der Sonne über dem Horizont, weil mit der größeren Sonnenhöhe nicht bloß die Länge des Weges der Wärmeſtrahlen in der Luft, ſondern auch die Schiefe dieſer Strahlen gegen die Erde geringer wird. Da nun die Sonnenhöhe täglich in der Richtung von O nach W von 0° — 90° wächſt und wieder bis 0° abnimmt, die Mittagshöhe aber in der Richtung von S nach N und zugleich auch die Dauer der ununterbrochenen Einwirkung der Sonne, d. h. die Tageslänge, im Laufe eines Jahres innerhalb einer beſtimmten Grenze abnimmt; ſo muß auch die Wärme auf der Erde eine tägliche und eine jährliche Periode befolgen. Dieſes beſtätiget die Erfahrung vollkommen, wie Jedermann weiß.

156. Die jährliche Periode hat einen verſchiedenen Charakter, je nach der Größe des Spielraums, innerhalb welchem die Mittagshöhen der Sonne variiren, weil von dieſer die Verſchiedenheit der Tagslänge und die Macht der Einwirkung der Wärmeſtrahlen der Sonne abhängt. Man kann nun für die ganze Erde bezüglich der Grenzen, innerhalb welcher die Mittagshöhe der Sonne wechſelt, drei von einander weſentlich verſchiedene Fälle unterſcheiden. Oerter, welche innerhalb der Wendekreiſe liegen, haben wenigſtens einmal im Jahre eine Mittagsſonnenhöhe von 90°, d. h. die Sonne im Zenith. Solche, die zwiſchen einem Pol und dem entſprechenden Polarkreis liegen, haben wenigſtens einmal im Jahre die Mittagshöhe = 0, d. h. die Sonne geht ihnen gar nicht auf. Solche endlich, welche zwiſchen einem Wendekreis und dem Polarkreis derſelben Hemiſphäre liegen, haben immer die Mittagshöhe größer als 0° und kleiner als 90°. Dieſe drei Fälle beſtimmen die ſogenannten klimatiſchen Zonen oder Erdgürtel. Da die zwiſchen dem Pole und dem entſprechenden Polarkreiſe, ſo wie die zwiſchen dem Polarkreiſe und dem nächſten Wendekreiſe liegende Zone in jeder Hemiſphäre vorkommt, ſo gibt es fünf ſolche Zonen, von denen die zwiſchen den Wendekreiſen befindliche, die heiße; jede zwiſchen einem Wendekreiſe und dem Polarkreiſe derſelben Halbkugel liegende, gemäßigte, endlich die von einem Polarkreiſe bis zum entſprechenden Pol ſich erſtreckende, kalte Zone heißt. Jede dieſer Zonen hat eigenthümliche Wärmeverhältniſſe, deren Charakteriſtiſches darin beſtehen muß, daß in der heißen Zone wegen der ſtets großen Sonnenhöhe und der geringen Variation der Tageslänge eine hohe, wenig veränderliche Temperatur herſchend iſt, in der kalten hingegen wegen

der großen Differenz zwiſchen dem längſten und kürzeſten Tage, ungeachtet der nie bedeutenden Mittagshöhe der Sonne, die Extreme der Temperatur ſehr weit aus einander liegen, in der gemäßigten Zone endlich eine Art Mittelzuſtand herrſcht. Näher beſtimmt dieſen Charakter die Erfahrung.

Unter dem Aequator ſind Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch einander gleich, und ſelbſt unter den Wendekreiſen hat der längſte Tag nur etwas über 13 St., und die kleinſte Mittags-Sonnenhöhe iſt daſelbſt 47°. An der Grenze der kalten Zone dauert der längſte Tag ſchon 24 St., und die größte Sonnenhöhe beträgt nur 43°, am Pol hat der längſte Tag eine Dauer von 6 Monaten, und die größte Sonnenhöhe iſt nur $23^1/_2$°. In der gemäßigten Zone wechſelt der längſte Tag von einer Grenze zur anderen, von etwas über 13 St. bis 24 St., die kleinſte Sonnenhöhe von 0° — 47°, die größte von 43° — 90°.

157. In der heißen Zone zerfällt das Jahr in zwei Jahreszeiten, nämlich in die trockene, heiße Jahreszeit, und in die Regenzeit. Wenn die Mittagsſonne dem Zenith nahe rückt und mit ihrem glühenden Strahle die Pflanzenwelt zu vertilgen droht, überzieht ſich der Himmel mit trübem Gewölke, es beginnt der tropiſche Regen, der mit Ausnahme einiger Tage und Stunden mehrere Monate anhält. Dieſe Erſcheinung fällt zu beiden Seiten des Aequators in entgegengeſetzte Zeiten des Jahres. Sie fängt an der Nordſeite des Aequators deſto früher an, je geringer die Breite des Ortes iſt, und rückt daher von Süden nach Norden fort; auch dauert ſie deſto länger, je früher ſie vor dem höchſten Sonnenſtande eintritt.

Die Regenzeit beginnt an der Küſte von Guinea im April oder Mai, tiefer im Lande im Mai oder Juni, und endlich im Flußgebiete des Gambia und Senegal im Juni oder Juli. Nach Rußegger's handſchriftlichen Mittheilungen theilen ſich im Inneren Afrika's die Trocken- und Regenzeit gleichmäßig in das ganze Jahr, und jede derſelben umfaßt nahe 6 Monate. Die Regenzeit, ſüdlich vom Aequator, iſt eine Fortſetzung des ſüdlichen Winters, und umfaßt die Monate October bis April; am Aequator beginnt ſie mit Ende December oder Anfangs Jänner. Im Januar traf ſie Rußegger ſchon in 10° 16′ n. Breite, mit Eintritt Februar im 11° und erſt im Mai im 15° Br., und dauert daſelbſt bis October. Sie erſtreckt ſich nur bis 16° Br. Ueber dieſen Breitegrad hinaus (bis zum 18°) reichen nur Regenſtürme, die aber nicht mehr ſo regelmäßig, ja nicht einmal alljährlich eintreten. Ueber den 18° Breitegrad hinaus hören die periodiſchen Regen ganz auf, und es ſind Regen überhaupt in den Wüſten von Nubien und Oberägypten nur als Seltenheit zu betrachten, und dieſe fallen in die Periode unſeres Winters.

158. Die Länder der gemäßigten Zonen haben vier Jahreszeiten, die bekanntlich durch die Namen Frühling, Sommer, Herbſt und Winter bezeichnet werden. In dieſen Gegenden ſteigt im Sommer die Wärme nicht ſelten ſo hoch als im heißen Erdgürtel, aber dafür ſinkt ſie im Winter tief unter die geringſte Temperatur der heißen Zone. Der Unterſchied zwiſchen der höchſten und niedrigſten Temperatur wächſt in der Regel mit der Breite eines Ortes. Länder,

welche der heißen Zone nahe liegen, kennen keinen rauhen Winter, der die Fluren tödtet, ſondern nur Tage, wie wir ſie im Frühlinge oder Herbſte erleben, das Entblättern und Belauben der Bäume trennt nur eine ſehr kurze Friſt. Je weiter man ſich von der Grenze der heißen Zone in die gemäßigte hinein entfernt, deſto gleichmäßiger theilen ſich die vier Jahreszeiten in das ganze Jahr, bis bei weiterer Annäherung an die Grenze des kalten Erdgürtels der Winter die Oberhand gewinnt und einen Theil des Frühlings und Herbſtes verſchlingt. Es erreicht zwar der Sommer wegen der langen Dauer der Tage eine außerordentliche Hitze, ſo daß Pflanzen, die bei uns kaum in drei Monaten vom Keimen bis zur Reiſe gebracht werden können, hier dazu nur etwa 6 Wochen brauchen; dafür iſt dieſe Zeit nur kurz und der ſchnell einbrechende Winter ſo heftig, daß die meiſten Flüſſigkeiten gefrieren, der Athem zu Reif erſtarrt, alle Vegetation erſtirbt, und nur wenige Thiere, ſo wie der überall ausdauernde Menſch, Thätigkeit und Leben beurkunden.

159. In der kalten Zone zerfällt das ganze Jahr in einen flüchtigen Sommer und in einen langen Winter. Die an der Grenze des gemäßigten Erdgürtels befindlichen Länder nehmen zwar noch etwas an den günſtigeren Verhältniſſen des letzteren Theil, aber weiter davon kann die Sonne ſelbſt bei der langen Dauer der Tage wegen ihrer geringen Höhe, wegen der häufigen Nebel und der Dicke und Dichte der Luftſchichten, welche die ſchief einfallenden Strahlen durchwandern müſſen, bevor ſie den Boden treffen, keine namhafte Erwärmung mehr hervorrufen, um ſo mehr, als die meiſte Wärme zum Schmelzen des Eiſes verwendet wird. Ueber 0° nördl. Br. hinaus ſteigt das Thermometer ſelbſt im Sommer ſelten über den Eispunct und über 79—80° nördl. Br. ſchmilzt der Schnee gar nicht mehr weg.

160. Wären Sonnenhöhe, Neigung der einfallenden Strahlen gegen den zu erwärmenden Körper, und Dauer ihrer Einwirkung die einzigen, auf die Erwärmung Einfluß nehmenden Elemente, ſo könnte man die Wärmeverhältniſſe jedes Orts durch Rechnung beſtimmen. Allein die Wärmeſtrahlen erwärmen nur in ſo ferne, als ſie abſorbirt werden, und die Erwärmung hängt daher von der abſorbirenden Kraft des Bodens ab; jeder Ort erfährt von ſeiner Umgebung nach Maßgabe der Temperaturverhältniſſe einen erwärmenden oder erkaltenden Einfluß; ſelbſt während der Einwirkung der Wärmequelle findet eine Wärmeabgabe durch Mittheilung und Ausſtrahlung Statt, noch mehr aber wenn jene Quelle verſiegt iſt, und ſomit macht ſich auch die Wärmeleitungsfähigkeit der Körper geltend. Unter ſolchen Umſtänden iſt an eine mathematiſche Beſtimmung der Wärmeverhältniſſe auf bloß theoretiſchem Wege nicht zu denken, und man kann nur im Allgemeinen nach ſolchen Anhaltspuncten den Einfluß der einzelnen Umſtände auf die Temperatur eines Ortes angeben. Es iſt klar, daß ſich trockener, nackter, beſonders ſandiger Boden wegen ſeiner ſtarken abſorbirenden Kraft und weil er keine Wärme zur Dunſtbildung abzugeben braucht, ſtark erhitzen, aber wegen ſeiner Leitungsfähigkeit auch

ſchnell und ſtark erkalten müſſe; daß cultivirter mit Pflanzen bedeckter Boden, der wenig Wärmeſtrahlen abſorbirt und viel Wärme zur Verdunſtung der Feuchtigkeit braucht, viel weniger erwärmt werde; daß Waſſer, welches wenig Wärme abſorbirt und beſtändig verdunſtet, nicht ſtark erhitzt werden könne, aber auch nur langſam und verhältnißmäßig wenig abgekühlt werde, weil es wenig Wärme ausſtrahlt und ſich ihre Erkältung nicht bloß auf die Oberfläche, ſondern tief in ihre Maſſe hinein erſtreckt. Eine partielle Erwärmung oder Erkältung wirkt auf eine bedeutende Entfernung rings herum, nicht bloß weil von wärmeren Orten gegen die kälteren hin Wärme zufließt, ſondern weil die Luftſtröme ganze warme oder kalte Luftmaſſen von einem Orte zum anderen führen. Alle dieſe theoretiſchen Folgerungen finden in der Erfahrung ihre volle Beſtätigung.

161. Große Continente, wie z. B. das aſiatiſche und afrikaniſche Feſtland, haben wärmere Sommer, kältere Winter und überhaupt größeren Temperaturwechſel als Inſeln und Küſtenländer. Man kann ihr Klima ein excessives nennen. Es iſt aber ſelbſt die Richtung der größeren Ausdehnung eines Landes von Einfluß auf deſſen Wärmeverhältniſſe. Länder der gemäßigten Zone erlangen günſtigere Verhältniſſe dieſer Art, wenn ſie ſich in den heißen Erdgürtel hinein erſtrecken, hingegen ungünſtige, wenn ſie bis zu den Polargegenden hinauf reichen. Die ſich weit in das Eismeer hinein erſtreckenden Welttheile Aſien und Amerika ſind darum kälter als Europa, und der afrikaniſche Continent iſt heißer als Aſien in gleicher Breite. Wüſten, deren Boden trocken, ſteinig und pflanzenleer iſt, wie z. B. die Sahara, die lybiſche Wüſte, haben eine unerträgliche Tageshitze und dabei doch kalte Nächte; das vegetationsreiche Oſtflorida und das ſüdliche waldige Negerland Afrika's ſind ungeachtet der Nähe des Aequators ſehr anmuthig. Küſtenländer, Inſeln, das Meer ſelbſt haben gemäßigte Sommer und Winter und überhaupt geringe Temperaturwechſel. Das von Binnenmeeren und Meerbuſen vielfach durchſchnittene Europa hat mehr den Charakter eines See- als eines Continentalklimas; Italien, Griechenland, ſo wie das küſtenreiche Indien verdanken denſelben Umſtänden die Gunſt ihres Klimas. Die ſüdliche Halbkugel hat ſchon darum eine minder hohe Temperatur, weil ſie weniger Land enthält als die nördliche. Europa iſt durch das Uralgebirge vor den kalten Nord-Oſtwinden geſchützt, und doch den hoch gehenden, warmen afrikaniſchen Winden offen, mithin auch aus dieſem Grunde wärmer als Aſien oder Amerika in gleicher Breite.

Nur $1/_6$ des ganzen Umfanges des Erdäquators fällt auf feſtes Land, und von dieſen kommen auf Afrika 0,461, auf Amerika 0,301, auf Aſien 0,114 und auf Auſtralien 0,124; es fällt daher der größere Theil des tropiſchen Continents in die Länder der alten Welt, und gerade Europa befindet ſich in jenem Theile desſelben, der ſich in der heißen Zone am meiſten ausbreitet. Sehr auffallende Verſchiedenheiten zeigen einzelne geographiſch gleich, aber phyſiſch ungleich gelegene Oerter. So liegen z. B. Amſterdam und Warſchau, ferner Kopenhagen und Kaſan nahe in demſelben Parallelkreiſe, und haben doch ſo verſchiedene Tem-

peraturen. Peking hat einen Sommer wie Neapel und einen Winter wie Kopenhagen; Kaſan hat während eines Theiles des Frühlings und Sommers dieſelbe Temperatur wie Paris, wiewohl es um 7° nördlicher liegt. Während die mittlere Wärme des Feſtlandes in der Aequatorialzone 27°,7 beträgt, iſt jene des Meeres ebendaſelbſt 25°,5. Das Meer erreicht dort ſelten 28°, und nie ſah man die Meerestemperatur über 31°, die Luft über dem Meere hat nur ſelten 29° und vielleicht nie 32°. Der Boden der heißen Zone nimmt während des Tages ſogar 52°,5 an, und den weißen Granitſand an den Waſſerfällen des Orinoco fand Humboldt 60°,3 heiß, während die Luft 29°.6 hatte. Monate lang iſt die mittlere Lufttemperatur in den Tropenländern 26°,5 — 35°, über dem tropiſchen Meere 23 — 27°; in Madras, Pondicheri, Oberägypten ſteigt die Wärme der Luft auf 40 — 46°,8 C.

162. Die Luft wird unmittelbar durch die Sonne nur wenig erwärmt, ſondern die unterſte Schichte erhält ihre Wärme faſt ausſchließend von der Erde und theilt ſie den oberen Schichten mit, indem ſie in die Höhe ſteigt. Allein die obere Luft wird von der unteren nur in ſo ferne erwärmt, als ſie kälter iſt als dieſe, und ſelbſt dieſer Wärmeüberſchuß der unteren Luft wird nicht ganz zur Erwärmung der oberen verwendet, weil ein Theil davon von der durch Verdünnung vergrößerten Capacität in Anſpruch genommen wird, und ſomit muß die Temperatur der Luft von unten nach oben abnehmen. Man kennt das Geſetz dieſer Abnahme noch nicht hinlänglich (151). Eben ſo wie höher befindliche Luftſchichten haben auch höher gelegene Stellen der Erdoberfläche eine geringere Temperatur, als tiefer gelegene, weil ſich ihre Temperatur mit der ſie umgebenden Luft ins Gleichgewicht ſetzen muß, und dieſes um ſo eher vor ſich geht, je geringer die über die Meeresfläche hervorragende, von der Luft umgebene Maſſe iſt. Es iſt nicht wahrſcheinlich, daß das Geſetz der Wärmeabnahme in der freien Luft auch für höher gelegene Stellen der Erdoberfläche gelte, ſo viel iſt aber gewiß, daß die Temperaturabnahme nach aufwärts in einzeln ſtehenden Bergen raſcher vor ſich geht, als in Hochebenen oder zuſammenhängenden Gebirgsketten. Eine natürliche Folge dieſer Wahrheiten iſt, daß man beim Beſteigen eines im heißen Klima befindlichen hohen Berges ſucceſſiv alle Klimate von der Gluth der Tropen, bis zum Eiſe der Polarländer über einander gelagert antreffen muß, und daß man überall, ſelbſt unter dem Aequator, zuletzt in eine Höhe kommt, wo der Schnee nicht mehr wegſchmilzt. Man nennt ſie die mittlere Schneegrenze. Die iſt natürlich deſto größer, je geringer die Breite des Ortes iſt; unter den Polen iſt ſie = 0, am Aequator hingegen = 2460 Toiſen, bei uns beiläufig 1300 F. Man darf aber nicht glauben, daß die Schneegrenze zugleich jene Höhe bezeichnet, wo die mittlere Temperatur = 0 iſt, dieſe richtet ſich mehr nach der Sonnenhitze als nach der mittleren Wärme, und wird überdieß durch eine Menge Nebenumſtände, z. B. durch die Ausdehnung der hohen Stelle, durch die Temperatur der Umgebung, die Luftfeuchtigkeit, Schneemenge u. ſ. w. beſtimmt.

Damit die Lufttemperatur um 1° C. ſinke, muß man an nachſtehenden Orten um ſo viele P. Fuß ſteigen, als die denſelben beigeſetzten Zah-

len anzeigen: Coffre de Perotte 569,6, Silla de Carracas 591,2, Fuerta de la Cuchilla 569,4, Guadaloupe 598,7, Pic v. Teneriffa 571,7, Nevado de Toluca 613,4, Pichincha 622,3, Chimboraſſo 629,0, Quito 750, Mexico 774, Popayan 780, Bogota 786, Paris 533,5, Aetna 547, Alpen 538, England 408, Süd-Deutſchland und Norditalien 531,6, Sachſen 536,4, Böhmen 529,2, weſtliches Sibirien 762, ſüdliches Vorder-Indien 546. Hieraus ſieht man, daß die Wärme auf Plateau's langſamer abnimmt, als in tieferen Gegenden. Nach d'Aubniſſon iſt die Erhöhung für eine Wärmeabnahme von 1°, zu Genf und auf dem Bernhardsberge für die einzelnen Monate in Metern, wie folgt: Jänner 221, Febr. 214, März 219, April 211, Mai 222, Juni 210, Juli 142, Auguſt 149, Sept. 164, Oct. 241, Nov. 201, Dec. 246; im Mittel 203 M. = 624 P. F. Sauſſure fand auf dem Col de Géant folgende Werthe in Metern zu verſchiedenen Stunden: Mittags 148, 2 Uhr 140, 4 U. 142, 6 U. 141, 8 U. 143, 10 U. 157, 12 U. 171, 14 U. 189, 16 U. 210, 18 U. 195, 20 U. 180, 22 U. 160, im Mittel 161,3 M. = 496 P. F. Bei Gay-Luſſac's berühmter Luftfahrt ſtand das Thermometer an der Erdoberfläche auf 30°,75, in 5002 M. Höhe auf 5°,25, in 5675 M. Höhe auf 0°,5, in 5632 M. Höhe auf 0° und in der größten Höhe, die erreicht wurde, nämlich in 6977 M. auf —9°,5. Die Höhe der mittleren Schneegrenze iſt in den Cordilleras von Quito (1 — 1°½ ſüdl. Br.) = 2460 Toiſen; von Mexico (19 — 19°¼ nördl. Br.) = 2350 T.; im nördlichen Abhange des Himalayagebirges (30¾ — 31° nördl. Br.) = 2600, im ſüdlichen Abhange = 1959 T.; am Kaukaſus (42½ — 43° nördl. Br.) = 1400 T.; in den Pyrenäen (42½ — 43°) = 1400 T.; in den Alpen (45¾ — 46) = 1370; in den Karpathen (49 — 49¼) = 1330 T.; im Altai (49 — 51) = 1000 T.; im Innern von Norwegen (61 — 62°) = 850 T.; an den Küſten (71¼ — 71½°) = 366 T.

163. Um ein treues Bild der Vertheilung der Wärme auf der Erde zu erhalten, muß man nebſt dem bereits Geſagten, auch noch den Gang der Wärme im Laufe eines Tages und Jahres, nebſt der Durchſchnittstemperatur der kälteſten und wärmſten Jahreszeit, ſo wie des ganzen Jahres kennen zu lernen ſuchen. Um den Gang der Wärme in einem Tage zu erforſchen, ſollte man eigentlich in jedem Zeitabſchnitt des Tages, ein vor Wind, Regen und ſtrahlende Wärme geſchütztes Thermometer beobachten; weil ſich aber die Wärme nicht ſo ſchnell ändert, ſo reicht es hin, von Stunde zu Stunde eine ſolche Beobachtung anzuſtellen. Setzt man dieſe Beobachtungen wenigſtens ein Jahr hindurch fort, und ſucht den jeder Beobachtungsſtunde entſprechenden mittleren Werth der Temperatur für die einzelnen Monate, ſo erhält man an den ſo erzielten Mittelwerthen ein Bild des mittleren Ganges der täglichen Temperatur in jedem Monat, und aus den Durchſchnitten der Monatmittel den mittleren ſtündlichen Gang der Wärme fürs ganze Jahr. Bei der ungeheuren Maſſe von Thermometerbeobachtungen, die bereits angeſtellt worden und noch fortwährend angeſtellt werden, hat man doch noch nicht gar viele zu ſolchen Zwecken brauchbare; indeß ſcheinen dieſe ſchon hinzureichen, gewiſſe allgemeine Geſetze als unzweifelhaft darzuſtellen. Es geht aus demſelben klar hervor, daß die Temperatur täglich ein Maximum und ein Minimum erreiche. Die Stunden, wo das Steigen in ein Fallen übergeht und

umgekehrt, d. h. die Wendeſtunden, ändern ſich ſo zu ſagen täglich. Das Minimum findet in der Regel etwa 20 M. vor Sonnenaufgang, das Maximum im Winter zwiſchen 12 — 1 U., im Sommer zwiſchen 2 — 3 U. Nachmittag Statt. Es rücken alſo die Wendeſtunden im Winter dem Mittag näher, eben ſo wie dieſes mit den magnetiſchen Wendeſtunden der Fall iſt. Auch die mittlere tägliche Aenderung iſt in verſchiedenen Monaten verſchieden, und zwar im December am kleinſten, im April am größten, ſie wächſt daher vom December den Winter hindurch bis zum April, und nimmt dann den Sommer und Herbſt hindurch bis zum December ab. Vergleicht man die ſtündlichen Jahresmittel mit den Monatmitteln, ſo findet man, daß die Temperatur in den Sommermonaten Morgens und ſpät Abends unter, Mittags und in den erſten Abendſtunden über dem mittleren Werthe ſtehe, und daß in den Wintermonaten ein umgekehrtes Verhältniß Statt finde. Da täglich die Temperatur einige Stunden unter, andere Stunden über dem Mittel ſteht, ſo muß es auch ſolche Stunden geben, wo die Temperatur dem Tagesmittel nahe kommt. Dieſes iſt der Fall zwiſchen 9—10 Uhr Vormittags, und noch mehr um 8 Uhr Abends.

Man braucht demnach, um die mittlere Temperatur eines Tages zu finden, nicht von Stunde zu Stunde zu beobachten, ſondern erreicht ſeinen Zweck, wenn man an den Stunden, wo nahe das Tagesmittel einzutreten pflegt, eine Beobachtung anſtellt. Noch näher kommt man an das Ziel, wenn man mehrere angeſtellte Beobachtungen gehörig zu benützen weiß. So z. B. gibt das Mittel aus dem Max. u. Min. der Temperatur mittelſt eines empiriſch beſtimmten Correctionsfactors (Kämtz Vorleſungen über Meteorologie. Halle 1840. S. 29) die mittlere Temperatur völlig genau. Nach den zu Leith, Apenrade und Padua angeſtellten, ſtündlichen Beobachtungen erhält man die mittlere Tagestemperatur aus zwei Beobachtungen, einer vor- und einer nachmittägigen, die um $11^1/_4$ Stunden von einander abſtehen. Nach Brewſter gibt die halbe Summe zweier in gleichnamigen Stunden (z. B. 10 Uhr Morgens und 10 Uhr Abends) erhaltenen Reſultate die mittlere Tagestemperatur. Beobachtet man täglich um 7 Uhr früh und um 2 und 9 Uhr Abends, wie dieſes nach den Beſtimmungen der Mannheimer meteorologiſchen Societät zu geſchehen hätte, ſo erhält man nach Kämtz das tägliche Mittel t durch die Formel $t = \frac{VII + II + 2\,IX}{4}$, wo VII, II, IX die um 7, 2, 9 Uhr beobachteten Temperaturen bezeichnen. Nach Humboldt gelangt man auch zum Zwecke, wenn man zu beliebigen Stunden beobachtet, die gefundene Temperatur mit der Zeit multiplicirt, welche zwiſchen ihr und der folgenden liegt, und die Summe der Producte durch 24 theilt. Am Wiener Obſervatorium wird um 8 Uhr Morgens, um 3 und 10 Uhr Abends beobachtet. Sind VIII, III, X die beobachteten Temperaturen, ſo iſt die mittlere Wärme t durch folgende Gleichung gegeben: $t = \frac{7\,VIII + 7\,III + 10\,X}{24}$. Dieſer Regel gemäß ſollte auch das Mittel aus 2 um 12 Stunden von einander entfernten Beobachtungen die mittlere Tageswärme geben. Nach Kämtz eignen ſich dazu beſonders gut 4 Uhr Morgens und Abends, und 10 Uhr Morgens und Abends. Bei mehreren mit dieſer Regel vorgenommenen Proben zeigte ſie ſich

faſt immer bis auf 0° 1 C. genau. (Kämtz in Schweigg. J. 48. 1. *Humboldt sur les lign. isoth. p.* 491 u. f.)

164. Die Durchſchnitte der in jedem Monat angeſtellten Beobachtungen geben den mittleren Gang der Wärme von Monat zu Monat im Laufe des Jahres an. Zwiſchen den Wendekreiſen zeigt dieſer Gang zwei Maxima und zwei Minima, und zwar ſteigt die Temperatur nördlich vom Aequator vom Jänner bis zum April oder Mai, ſinkt von da bis zum Juni oder Juli, und ſteigt dann wieder bis zum September, und nimmt wieder ab bis zum Jänner. Unter dem Aequator erfolgt das Steigen und Fallen der Temperatur nach demſelben Geſetze, mit wachſender Breite weicht das Geſetz der Temperaturzunahme von jenem der Abnahme immer mehr ab, und die Eintritte der zwei Maxima, welche unter dem Aequator ein halbes Jahr von einander abſtehen, rücken einander immer näher, bis ſie bei 15°—20° Breite in ein Maximum zuſammenfallen. In mittleren und höheren nördlichen Breiten gibt es nur ein jährliches Maximum und ein Minimum, und zwar fällt erſteres in den Monat Juli, letzteres in den Monat Jänner. In der nördlichen gemäßigten Zone erleidet der Gang der Wärme mehrere ſehr hervorſtechende Unterbrechungen. Dieſes hat vorzüglich Brandes ſchön nachgewieſen. Die größte Kälte fällt nämlich faſt überall in die erſten Tage des Jänners, und vermindert ſich von da fortwährend ohne allgemeine Unterbrechung bis gegen Ende desſelben Monats, wo eine neue Wärmeabnahme eintritt, die mit geringen Abwechslungen einen halben Monat anhält. Nach Verlauf dieſer Zeit, alſo in der zweiten Hälfte des Februars, beginnt wieder eine mildere Witterung, wird aber durch eine neue Kälte (Nachwinter) auffallend unterbrochen, die in den öſtlichen und nördlichen Gegenden früher merklich wird, auch mehr erheblich iſt, als in den weſtlichen und ſüdlichen. Brandes zeigt, daß ſie durch einen Luftſtrom erzeugt werde, der aus dem aſiatiſchen Eismeere oder dem nordöſtlichen Rußland kommt, und durch die erwärmende Wirkung der zu dieſer Zeit in dieſen Gegenden gerade aufgehenden Sonne hervorgebracht werden ſoll. Nachdem dieſe vorüber iſt, fängt die Temperatur allmälig zu ſteigen an, und wächſt mit wenigen Unterbrechungen mit größeren oder geringeren Schritten bis zur Zeit der größten Sommerhitze. Dieſe tritt in den nördlichen Gegenden früher als in den ſüdlichen ein, weil auch dort die Tage ſchneller wachſen als hier. Von dem Zeitpuncte der größten Wärme nimmt die Temperatur ab, und zwar in den ſüdlichen Gegenden langſamer als in den nördlichen, erreicht aber im zweiten Drittel des Auguſt wieder einen ziemlich hohen Grad. Von da beginnt nun beſonders in den nördlicheren Gegenden eine ſchnelle Abnahme der Wärme bis zum Anfange Oktober, wo mit dem bekannten Nachſommer eine abermalige Erhöhung der Temperatur eintritt. Nach Verlauf des Nachſommers nimmt die Kälte mit wenigen Unterbrechungen bis zum größten Grade zu. (Unterſuchungen über den mittleren Gang der Wärmeänderungen durchs ganze Jahr von Brandes. Leipzig 1820. S. 1—26.)

Für Wien haben 60jährige Beobachtungen die mittlere Temperatur jedes der zwölf Monate eines Jahres ſo kennen gelehrt, wie folgt:

Jänner	— 1°,207	Juli	17,221
Februar	0,676	Auguſt	16,873
März	3,910	September	13,294
April	8,824	October	8,539
Mai	13,400	November	3,713
Juni	15,768	December	0,461

Jährlicher Durchſchnitt 8°,459. R.

Unter dem Aequator fallen nach Erman die zwei wärmſten Tage mit einer Temperatur von 24°,5 R. auf den 19 — 20 April und den 22 — 23. October, die zwei kälteſten mit einer Temperatur von 20°,6 R. auf den 19 — 20 Jänner und den 22 — 23. Juli. Die größte Veränderung der Tagestemperatur beträgt 3°,9 R. In Cumana (10° 27′ nördl. Br.) iſt die Temperatur des heißeſten Monats im Durchſchnitte 29,1 C., die des kälteſten = 26,2, mithin die Differenz beider = 2°,9. In Deutſchland hat man (am 31. December 1783 und am 31. Jänner 1784) — 31°,2 C. beobachtet, und in Wien ſtieg (an der Sternwarte) am 8. Juli 1819 das Thermometer auf 36°,9 C. Nach Gieſecke (Scholz Phyſik. 4. Aufl. S. 542) war die niedrigſte innerhalb 7 Jahren auf Grönland beobachtete Temperatur — 42°,5 C., die höchſte aber + 31°,25. In Petersburg hatte man (1772) eine Winterkälte von — 38°,8 C. und (1788) eine Sommerhitze von 33°,4. Selbſt in Abo beobachtete Leche eine Temperatur von 34°,2. In Paris beobachtete man (6. Febr. 1665) — 21°,2 und (am 28. Juli 1793) eine Hitze von 38°,4 C. Capitän Parry fand im Jahre 1819 in der Davisſtraße und Baffinsbai im Juli die höchſte Temperatur = 7°,7 C., die geringſte — 3°,3, auf der Inſel Melville (Breite $74\frac{3}{4}$°) im Auguſt die größte Wärme 17°,2, die kleinſte — 5°,5. In Spitzbergen (Breite 79°) ſoll in den Wintermonaten die Temperatur faſt immer zwiſchen — 35° und — 37° C. ſchwanken und im Sommer nur ſelten über 4°,5 C. ſteigen. Im Winter bilden ſich in dieſen Gegenden die ungeheuren Eisfelder, welche die Polarmeere bedecken und oft einige hundert Meilen im Umfange haben, wohl auch die ſogenannten Eisberge, die oft mit ungeheurem Getöſe ſtückweiſe ins Meer ſtürzen, fortſchwimmen, und beſonders, wenn ſie die Sonne brüchig gemacht hat, den Schiffen große Gefahr bringen. (Gilb. Ann. 62. 1.) Nach Bouvard tritt zu Paris die größte Sommerhitze am 15. Juli, die größte Winterkälte am 14. Jänner, mithin 6 Monate nach jener ein, beide erfolgen 25 Tage nach dem Solſtitium. Die vom wärmſten Monat Juli gleich weit abſtehenden Monate März und November haben auch eine gleiche Temperatur (6°,48 und 6°,78), und der 5. März hat genau dieſelbe Temperatur wie der 24. November. Nach Kämtz fällt die höchſte und geringſte Temperatur des Jahres in nachſtehenden Orten auf die ihnen beigeſetzten Tage:

Enontekis:	20. Jän.,	26. Juli.	Padua:	15. Jan.,	26. Juli.
Chriſtiania:	17. »	20. »	Rom:	17. »	1. Aug.
Upſala:	16. »	21. »	Capſtadt:	2. Febr.,	6. Juli.
Fort Sullivan:	24. »	29. »	Fort Johnſton:	18. Jän.,	21. »
Mancheſter:	12. »	27. »	Abusheher:	12. »	18. »
Turin:	3. »	27. »			

Im Mittel fällt demnach der kälteſte Tag auf den 14. Jänner, der wärmſte auf den 26. Juli.

165. Da die mittlere Temperatur einiger Monate unter dem Jahresmittel liegt, die anderen Monate aber das Jahresmittel überſchreitet, ſo muß es auch im Laufe eines Jahres Monate geben, deren Temperatur dem Jahresmittel ſehr nahe kommt. Nach Erman ereignet ſich unter dem Aequator die mittlere Jahrestemperatur jährlich viermal, und zwar am 5. März, am 5. Juni, am 7. Oct. und am 6—7. Dec. Nach v. Humboldt ſtimmt das Monatmittel vom April und October mit dem Jahresmittel ſehr nahe überein, noch näher kommt demſelben nach Kämtz der Durchſchnitt der Monate April und October. Uebrigens iſt das jährliche Mittel für jeden Ort nahe eine conſtante, höchſtens um 1—2° C. veränderliche Größe.

Kämtz (Schweigg. J. 55. 375) hat für mehrere Orte aus einer großen Anzahl daſelbſt angeſtellter Temperaturbeobachtungen die Tage ausgemittelt, deren mittlere Temperatur zugleich die mittlere Jahrestemperatur ausdrückt und folgende Reſultate gefunden:

Enontekis:	28. April,	22. Oct.	Padua:	20. April,	15. Oct.
Chriſtiana:	3. Mai,	14. »	Rom:	1. Mai,	24. »
Upſala:	22. April,	18. »	Capſtadt:	19. April,	21. »
Fort Sullivan:	26. »	26. »	Fort Johnſton:	21. »	18. »
Mancheſter:	27. »	23. »	Abusheher:	23. »	22. »
Turin:	18. »	26. »			

Man kann den 24. April und 21. October als jene Tage anſehen, deren Temperatur der mittleren Jahreswärme gleich kommt.

166. Die Vertheilung der Wärme auf der Erde wird am beſten erſichtlich, wenn man die Orte von gleicher mittlerer Temperatur durch Linien verbindet, welche man iſothermiſche Linien nennt. Fig. 392 ſtellt dieſe Linien für die nördliche Halbkugel dar. Man entnimmt daraus folgende Geſetze: Die der höchſten Temperatur entſprechende Iſotherme iſt die des Aequators. Sie entſpricht an den Küſten der größeren Continente 27°,74 C.; im Inneren großer Länder iſt die Wärme etwas größer, mitten im Ocean etwas kleiner. Die Iſotherme von 25° verläßt die Weſtküſte Amerika's nördlich von Acapulco, geht durch Cuba, tritt, nachdem ſie etwas nach Süden hinabgeſtiegen iſt, nördlich von den Inſeln des grünen Vorgebirges in Afrika ein, hebt ſich an der Weſtküſte Afrika's nach Norden, und ſchneidet die aſiatiſche Oſtküſte weſtlich von der Inſel Luſſon. Die Iſotherme von 20° geht durch Californien, ſchneidet die Weſtküſte Europas zwiſchen Madeira und den canariſchen Inſeln, läuft zwiſchen Creta und der Küſte Aegyptens fort, und verläßt Aſien in der chineſiſchen Provinz Tſche-kiang. Die Iſotherme von 15° geht durch Neu-Calefornien gegen die Azoren, und erreicht Europa an der Grenze von Spanien und Portugal, zieht ſich dann durch den römiſchen Staat, geht durch das caſpiſche Meer, ſenkt ſich hierauf nach Süden und erreicht Aſiens Oſtküſte in der Inſel Niphon. Die Iſotherme von 10° geht von der Weſtküſte Amerika's in New-Albion nach Neu-York, hebt ſich da nördlich und erreicht ihre größte Breite bei London, lauft von da bei Frankfurt und Wien vorbei gegen Aſtrachan, und erreicht in der Wüſte Schamo ihren süd-

lichſten Scheitel. Die Iſotherme von 5° verläßt Amerika bei Halifax, erreicht Drontheim in Norwegen, und ſenkt ſich dann gegen Riga und Moskau, hat bei Kiachta ihren ſüdlichſten Scheitel und tritt im ſüdlichen Theile von Kamtſchatka in den großen Ocean ein. Die Iſotherme von 0° ſenkt ſich im amerikaniſchen Continente ſtark nach Süden, ſteigt aber beim Austritte aus demſelben nördlich von Neu-Foundland gegen Island bis zum nördlichen Theile von Norwegen, worauf ſie aber ſchnell abwärts geht und im aſiatiſchen Continente die Oſtküſte am nördlichen Theile von Kamtſchatka zu erreichen ſcheint. Die Geſtalt dieſer Linien zeigt deutlich das Daſeyn zweier Puncte der Erdoberfläche (Kältepole) an, wo die Temperatur im Verhältniſſe zur geogr. Breite am geringſten iſt. Einer derſelben liegt nördlich vom amerikaniſchen, der andere nördlich vom aſiatiſchen Feſtlande. Da die Temperatur von unten nach oben eben ſo abnimmt, wie vom Aequator gegen die Pole, ſo wird ſelbſt am Aequator jeder Höhe eine mittlere Temperatur entſprechen müſſen, wie ſie in einer beſtimmten Breite vorkommt. Fig. 393 zeigt die Iſothermen dieſer Art.

167. Von der mittleren Temperatur, beſonders von jener der einzelnen Jahreszeiten, hängt insbeſondere bei ſonſt günſtiger Beſchaffenheit des Bodens, der *Zuſtand der Vegetation* ab, ſo daß man häufig von dieſem Zuſtande auf die Temperatur einen Schluß zu machen im Stande iſt. Paris und London haben faſt dieſelbe mittlere Temperatur (Paris 10°,6, London 10°,2), und doch kommen um Paris viele Gewächſe ſehr gut fort, die um London nicht gedeihen. Ein Land, welches das ganze Jahr hindurch 10° C. Wärme hätte, würde nur wenige Pflanzen zur Reife bringen, während bei derſelben mittleren Temperatur und einer mittleren Sommerwärme von 21°, und einer mittleren Winterkälte von — 3°, wie dieſes in Wien der Fall iſt, eine ſehr üppige Vegetation herrſchen kann.

Jede Pflanze fordert zum Gedeihen und Reifen ihrer Früchte eine beſtimmte Sommerwärme und mittlere Temperatur, und kommt daher nur dort fort, wo dieſe herrſcht. So z. B. fordert die Weintraube eine mittlere Temperatur von 8°,7, die Kaſtanie 9°,3, die Olive 13°,1, die Pomeranze 17°, die Kaffeebohne 18°,1, der Zucker 23°.7. Auf der Reiſe von Rio de Guayaquil nach dem Chimboraſſo trifft man an der Fläche der Südſee bis zu einer Höhe von 2700 Fuß Palmen und Piſangs; Affen, Jaguare und bunte Papageien haben hier ihren Aufenthalt. Von da bis zu einer Höhe von 9000 P. Fuß gedeihen die tropiſchen Eichen und Chinabäume, auch baumartige Farrenkräuter. Weiter aufwärts bis 12000 F. finden in kalten beſtändigen Nebeln noch die Escallonien und die Zimtwintern ſparſame Nahrung, aber auch dieſe hören auf, wenn man ſich weiter aufwärts begibt, und es treten nur kräuterartige Alpenpflanzen, mit feiner Wolle dicht bewachſen, an ihre Stelle, bis endlich bei einer Höhe von 14760 F. nur gelblich leuchtendes Gras, zuletzt gar nur kryptogamiſche Gewächſe den traurigen, halb nackten Boden bedecken, den außer wilden Lama's und dem Berglöwen wenige belebte Weſen beſuchen. Ueber dieſe Höhe hinaus, ſtarrt die Natur vom ewigen Eiſe. (*Voyage de M. Alexander de Humboldt et Aimé Bonpland. 1. part. phys. générale. Paris et Tübingen* 1807.) Einen ähnlichen Wechſel der Vegetation bemerkte *Buch* (deſſen Reiſe nach Nor-

wegen und Schweden. Berlin 1810) in den Alpen unter einer Breite von 45°,25 — 46°,5, und in Norwegen unter einer Breite von 70°. Er gibt folgende Grenzen an:

Für die Alpen.	In P. F. Höhe.	Für Norwegen.	J. P. F. Höhe.
Weinbaugrenze . . .	2432	Grenze der Fichten . .	730
Nußbaumgrenze . .	4564	» » Birken . .	1483
Kirſchbaumgrenze . .	4164	» » Heidelbeeren	1980
Buchengrenze . .	4815	» » salix myrsinit.	2019
Alpenroſe	6840	» » Zwergbirken	2576
Schneegrenze . . .	8540	Schneegrenze	3300

Wahlenberg theilt Lappland nach dem Wechſel der Vegetabilien und des Klima's in fünf Regionen ein: 1) In die Fichtenregion, welche bis 3200 P. F. unter die Schneegrenze reicht. Hier ſteht das Thermometer im Mittel auf + 2° C., unten wächſt noch Gerſte, oben nur mit Noth. 2) Kieferregion, welche ſich etwa 3000 Fuß unter die Schneegrenze erſtreckt. Hier beträgt die mittlere Temperatur 1,8 C., es reifet kein Korn mehr, und nur unten lohnen Kartoffeln und Rüben den Anbau. 3) Birkenregion bis 2000 Fuß unter der Schneegrenze. Die mittlere Wärme beträgt 1,4 C.; oben kommt auch die Birke nur verkrüppelt vor. 4) Niedere Alpenregion 1400 F. unter der Schneegrenze. Hier ſchmilzt der Schnee kaum vor Ende Juli, es wachſen nur Zwergbirken und salix myrsinites; die mittlere Wärme iſt 1° C. 5) Die hohe Alpenregion, wo an vielen Stellen der Schnee gar nicht wegſchmilzt, nur Alpenkräuter mehr wachſen, und die kein Lappe mit ſeinem Zelte überſchreitet. (*Wahlenberg flora Lapponica. Berol.* 1812. Gilb. Ann. 41. 233.)

168. Alle bisher angeführten Umſtände zuſammengenommen, beſtimmen nach dem jetzigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe die klimatiſchen Verhältniſſe und den Gang der Wärme an jeder Stelle. Was bis jetzt die Erfahrung über den Wärmezuſtand der Erdoberfläche gelehrt hat, beſteht im Allgemeinen darin: Unſer Klima hat ſich ſeit den älteſten Zeiten nicht verſchlimmert und die Winter ſind nicht ſtrenger geworden. Dieſes läßt ſich aus dem Gefrieren der Flüſſe und Meere, worüber wir vom grauen Alterthume Nachrichten haben, abnehmen. In keinem Orte der Erde erreicht ein gegen jede Strahlung geſchütztes, 5—8 Schuh über dem Boden erhöhtes Thermometer 46° C. und im offenen Meere ſteigt es nur auf 31° C.; die größte, ganz ſichere, bis jetzt an einem in der Luft aufgehängten Thermometer beobachtete Temperatur iſt 30° C., die größte beobachtete Kälte — 56°,2 C. Das Meerwaſſer hat an der Oberfläche nie eine Wärme von 32° C. Die ſüdliche Halbkugel iſt bedeutend kälter als die nördliche. In dieſer iſt unter 31° Breite Eis keine Seltenheit mehr, von 49° — 60° (wie etwa von Wien bis Petersburg) kommen ſchon einzelne Polareismaſſen zum Vorſchein, das Feuerland, in einer Breite wie Preußen, hat ſchon ewigen Schnee. In der nördlichen Halbkugel erſtreckt ſich das Polareis 9° vom Pole, in der ſüdlichen 18° — 20°, hie und da ſelbſt 30°. Schwimmende Eismaſſen hat man in beiden Erdhälften 40°, manchmal 41° — 42° vom Pole angetroffen. Die Schneegrenze fällt unter dem Aequator in eine Höhe von 2460 Toiſen über die Meeresfläche, in den Pyrenäen 1400,

in den Alpen 1370 Toiſen; in der Breite von Spitzbergen ſcheint ſie in die Meeresfläche einzuſchneiden. Europa und Afrika ſind die verhältnißmäßig wärmſten Erdtheile, Amerika der kälteſte. In Europa wird bis zu 67° 20′ Breite Ackerbau getrieben, in Aſien hört der Ackerbau unter 60° Br. auf, in Amerika kann ſelbſt unter 51° Br. nicht mehr mit Vortheil geſäet werden.

Mit wachſender Breite nimmt die mittlere Temperatur in der neuen Welt viel raſcher ab, als in der alten, und zwar beträgt dieſe Abnahme zwiſchen 0—20° n. Br., in der alten und neuen Welt 2° C.; zwiſchen 20—30° Br., in jener 4°, in dieſer 6°; zwiſchen 30—40°, in jener 4°, in dieſer 7°; zwiſchen 40°—50° in jener 7°, in dieſer 9°, und zwiſchen 50°—60° in jener 5°,7, in dieſer 7°,9 C. Wie abweichend in gleichen Breitengraden die mittlere Temperatur der ſüdlichen Halbkugel von jener der nördlichen iſt, läßt ſich aus folgender Zuſammenſtellung entnehmen:

Breite	0°—15°,	mittl. Temp.	d. nördl.	Halbkugel	28,5,	d. ſüdl.	Halbk.	28,0
»	18°	»	»	»	26,5	»	»	26,5
»	22°—26°	»	»	»	19,3	»	»	22,5
»	34°	»	»	»	15,4	»	»	13,8
»	43°	»	»	»	17,0	»	»	16,8
»	48°	»	»	»	18,2	»	»	15,2
»	58°	»	»	»	13,5	»	»	6,2

Folgende Tafel enthält die mittlere Temperatur des Jahres, des Sommers und Winters mehrerer Orte:

Name des Ortes.	Breite.	Mittlere Jahrestemperatur nach C.	Mittl. Temperatur des Sommers.	Mittl. Temperatur des Winters.
Cumana	10° 27′	27°,7	27,8	26,8
Calcutta	22 35	26,27	28,36	21,15
Macao	23 8	23,97	29,15	17,55
Havana	23 10	25,6	28,8	21,1
Cairo	30 3	22,19	29,46	14,53
Algier	36 48	21,28	26,71	16,54
Palermo	38 7	16,77	22,02	11,31
Liſſabon	38 43	16,34	21,65	11,42
Cincinati	39 6	12,12	22,82	0,52
Peking	39 54	12,7	28,1	— 3,1
Philadelphia . . .	39 56	11,9	23,3	0,1
New-York	40 40	21,1	26,2	— 1,2
Rom	41 54	15,48	24,08	8,34
Marſeille	43 18	12,27	22,74	7,35
Bordeaux	44 50	13,6	21,6	5,6
Turin	45 4	11,68	21,72	1,33
Padua	45 24	13,95	23,14	1,70
Mailand	45 28	13,2	22,8	2,4
Quebeck	46 48	5,6	20,1	— 7,9
Nantes	47 13	12,6	20,3	4,7
Ofen	47 29	10,53	21,18	— 0,41
Wien	48 12	10,85	20,68	— 0,03
Paris	48 50	10,81	18,01	3,59

Name des Ortes.	Breite.	Mittlere Jahrestem-peratur nach C.	Mittl. Temperatur des	
			Sommers.	Winters.
Karlsruhe	48° 59′	9°,97	18,74	1,51
Mannheim	49 29	10,30	19,55	1,50
Würzburg	49 46	10,41	20,04	0,71
Trier	49 48	9,90	18,11	1,47
Prag	50 5	9,70	20,5	— 0,30
Frankfurt am Main .	50 7	9,83	18,27	1,42
Brüſſel	50 50	11,0	19,0	2,6
Erfurt	50 59	9.08	16,47	— 0,48
Dünkirchen	51 2	10,3	17,8	3,6
Breslau	51 6	7,88	17,25	— 1,02
Düſſeldorf	51 15	10,64	17,38	2,77
London	51 31	9,83	16,75	3,22
Göttingen	51 32	8,30	18,20	— 0,90
Haag	52 5	11,13	18,63	3,46
Warſchau	52 14	9,2	20,6	— 1,8
Amſterdam	52 22	10,9	18,8	2,7
Berlin	52 31	8,5	17,6	— 0,7
Lüneburg	53 15	9,04	17,25	0,95
Dublin	53 21	9,56	15,34	4,00
Mancheſter	53 30	8,70	14,81	2,81
Hamburg	53 33	8,90	18,96	0,40
Danzig	54 20	7,68	16,36	— 0,77
Königsberg	54 42	6,49	15,87	— 3,26
Copenhagen	55 41	7,69	17,17	— 0,92
Moskau	55 47	3,26	16,90	—10,50
Edinburg	55 58	8,37	14,07	3,47
Stockholm	59 21	5,64	16,30	— 3,67
Upſala . . . , .	59 52	5,36	15,79	— 4,02
Chriſtiania	59 55	5,33	15,78	— 3,66
St. Petersburg . .	59 56	3,8	16,7	— 8,3
Drontheim	63 26	4,48	16,33	— 4,78
Umeo	63 50	1,90	14,19	—10,46
Uleo	65 0	0,66	14,34	—11,15
Winter-Inſel . . .	66 12	—12,5	2,03	—29,03
Nordcap	71 10	0,07	6,38	— 4,63
Melville-Inſel . . .	74 45	—18,5	3,14	—33,33

169. Sowohl die täglichen, als die jährlichen Variationen der Wärme ſind ſchon bei der oberſten Erdſchichte geringer als bei der Luft, nehmen aber gegen das Innere der Erde zu immer mehr ab, und verlieren ſich endlich ganz. Schon in einer Tiefe von 1½—3 F. verſchwinden die täglichen, in einer Tiefe von 30—60 F. aber auch die jährlichen Wärmeveränderungen, und über letztere Grenze hinaus herrſcht Jahr aus Jahr ein dieſelbe Temperatur. Nach Quetelet nimmt der Unterſchied zwiſchen dem jährlichen Maximum und Minimum der Temperatur in der Erde in geometriſcher Progreſſion ab, wenn die Tiefe im arithmetiſchen Verhältniſſe wächſt, und während, z. B im mittleren und nördlichen Europa dieſe Differenz in der Tiefe von 8.6

Meter 1° C. beträgt, beläuft ſie ſich in einer Tiefe von 15.3 M. nur auf 0°.1, in 22.4 M. Tiefe gar nur auf 0°.01, und kann als verſchwindend klein angeſehen werden. In der Erdſchichte, wo es noch Variationen der Wärme gibt, tritt ſowohl das Maximum als das Minimum lange nach der größten oder kleinſten Luftwärme ein, ja in Tiefen von etwa 24 F. fällt die Zeit des Maximum der Erdwärme nahe auf jene des Minimum der Lufttemperatur (Quetelet in Pogg. Ann. 38. 531). Die mittlere Temperatur der Erdoberfläche ſtimmt mit jener der Luft in Orten von mittlerer Breite nahe überein, und wird da, wo nicht chemiſche Prozeſſe eine Ausnahme begründen, durch die Temperatur der Quellen angezeigt. In größeren Breiten iſt die mittlere Wärme des Bodens (zum großen Vortheile der Vegetation) höher als jene der Luft, in geringeren Breiten niederer, und man kann es als ausgemacht anſehen, daß die Bodenwärme vom Aequator gegen die Pole deſto raſcher abnimmt, je mehr man ſich dem Parallelkreiſe von 45° nähert, höher hinauf aber einen langſameren Gang befolgt. Die Urſache dieſer merkwürdigen und für die Oekonomie der Natur ſo wichtigen Thatſache liegt darin, daß die äußere Luftwärme in ſolche Tiefe vorzugsweiſe nur durch das eindringende atm. Waſſer gebracht wird. Da aber dieſes nur in mittlerer Breite das ganze Jahr hindurch in die Erde eindringt, während der Boden in kälteren Klimaten nur für das Sommerwaſſer offen iſt, in wärmeren hingegen nur in der kälteren Zeit Regen fällt; ſo kann nur in erſterem die Quellenwärme mit der mittleren Luftwärme übereinſtimmen, und muß in größeren Breiten höher, in kleineren aber geringer ſeyn als die der Luft. Die Linien gleicher Luftwärme ſind von denen gleicher Erdwärme in vielen Stücken verſchieden, und beide ſtimmen nur darin mit einander überein, daß ſie nicht mit dem Aequator parallel laufen. Uebrigens hängen letztere ſo gut von der geographiſchen Länge ab, wie erſtere (Humboldt in Gilb. Ann. 24. 46; Buch in Pogg. Ann. 12. 403; Kupffer ebend. 15. 159). Folgende Tafel zeigt den Unterſchied zwiſchen der Boden- und Lufttemperatur:

Ort.	Breite.	Bodenwärme. R°	Luftwärme. R°	Seehöhe.
Congo	9 °S	18,2	20,5	450 M
Cumana	10¼ N	20,4	27,7	0
St. Jago (Cap verdiſchen Inſeln)	15 N	19,6	20,0	0
Rockfort (Jamaica) . .	18	20,9	21,6	0
Havana	23	18,8	20,5	0
Nepal	28	18,6	20,0	0 (?)
Teneriffa	28½	14,4	17,3	0
Cairo	30	18,0	18,0	0
Cincinati	49	9,9	9,7	160
Philadelphia	40	10,2	9,9	0

O r t.	Breite.	Bodenwärme. R°	Luftwärme. R°	Seehöhe.
Carmeaux	43	10,4	11,5	300 (?)
Genf	46	8,9	7,7	350
Wien	48	8,5	8,5	136
Paris	49	9,2	8,7	75
Berlin	$52^1/_2$	8,1	6,4	40
Dublin	53	7,7	7,6	0
Kendal	54	7,0	6,3	0
Keswick	$54^1/_2$	7,4	7,1	0
Königsberg	$54^1/_2$	6,5	5,0	0
Edinburg	56	7,0	7,0	0
Carlscrona	$56^1/_4$	6,8	6.8	0
Upſala	60	5,2	4,5	0
Umeo	64	2,3	0,6	0
Giwarten = fiäll	66	1,0	— 3,0	500
Enontekis	66	1,2	— 4,9	
Radſoe	—	2,2	— 3,5	

Nach Rudberg's Beobachtungen iſt die Temperatur der Erdrinde zu Stockholm wenigſtens bis zu 3 F. Tiefe von der Tiefe unabhängig, und zur Zeit beider Aequinoctien in verſchiedenen Tiefen dieſelbe. (Pogg. Ann. 33. 251.)

170. Die Wärmeverhältniſſe im Inneren der Erde ſind verſchieden, je nachdem ſie ſich auf das Weltmeer oder auf den feſten Theil der Erde beziehen. Die Natur eines ſo beweglichen Körpers, wie das Waſſer iſt, wo die ſchwereren Theile fortwährend zu Boden ſinken, bringt es mit ſich, daß deſſen Temperatur von außen nach innen abnimmt. Nach Lenz (Pogg. Ann. 20. 73) erfolgt dieſe Abnahme ziemlich raſch, wird aber nach einwärts immer langſamer und endlich unmerklich. Die Tiefe, wo dieſes Statt findet, ſcheint mit dem Zunehmen der Breite immer aufwärts zu rücken; ſie beträgt bei 41°—32° Breite 200—300 T., bei 21° Br. 400 T. Die niedrigſte Temperatur, welche Lenz fand, war 2°.2. Die Unterſuchung erſtreckte ſich auf 1000 T. Tiefe. Anders verhält es ſich mit der Temperatur im feſten Theile der Erdrinde. Wäre die Temperatur der Erde bloß von der Einwirkung der Sonne abhängig, ſo müßte ſie gegen innen ſehr raſch abnehmen; die Erfahrung lehrt aber, daß die Temperatur der Erde gegen den Mittelpunct zu wächſt. Man hat dieſes aus Beobachtungen abgenommen, die man in natürlichen oder künſtlichen Höhlen (Schachten oder Bohrlöchern) an Stellen machte, wo der Einfluß der äußeren Luft nur klein ſeyn konnte und jede Erwärmung durch Menſchen und Lichter möglichſt gemieden wurde, oder an waſſerreichen arteſiſchen Brunnen. Ueber das Geſetz dieſer Zunahme der Wärme hat man noch nichts Sicheres ausmitteln können. Die waſſerreichen arteſiſchen Brunnen um Wien geben in einer Tiefe von 80 F. eine Zunahme der Temperatur von 1° R., und eben dieſes lehren im Durch-

ſchnitte die in England, Frankreich, Deutſchland und Rußland vorgenommenen Meſſungen derſelben Art. Es iſt nicht leicht, dieſes Zunehmen der Wärme in der Erde anders zu erklären, als durch die Annahme, die Erde habe in ihrem Innern noch einen bedeutenden Reſt ihrer urſprünglichen Wärme; doch iſt gewiß, daß ſich die Temperatur der ganzen Erde ſeit 2000 Jahren nicht um $^1/_{10}{}^\circ$ vermindert habe; denn eine ſolche Verminderung der Erdwärme wäre mit einer Volumveränderung verbunden, die ſich durch ihren Einfluß auf die tägliche Umdrehungszeit der Erde deutlich kund hätte geben müſſen, und den Beobachtern gewiß nicht entgangen wäre.

Zu Beobachtungen der Temperatur in tiefen Schachten oder Bohrlöchern hat man beſonders eingerichtete Thermometer, worunter das von Magnus angegebene Geothermometer das brauchbarſte ſeyn dürfte. Dieſes iſt ein gewöhnliches Queckſilberthermometer mit verhältnißmäßig weiter Röhre und einer nur wenige Grade über 0° enthaltenden Scale mit Graden von mindeſtens $^1/_2$ Z. Größe. Das Ende der Röhre iſt in eine feine krumme Spitze ausgezogen, daſelbſt offen gelaſſen, aber mit einer weiteren Kappe gedeckt. Läßt man dieſes Inſtrument in die Tiefe hinab, deren Temperatur beſtimmt werden ſoll, ſo wird ein Theil Queckſilber aus der Röhre in die Kappe getrieben und bleibt in derſelben, wenn auch die Temperatur beim Heraufziehen des Inſtrumentes wieder ſinkt. War es, ſo lange alles Queckſilber in der Röhre ſich befand, mit einem Normalthermometer übereinſtimmend, und man bringt es nach dem Heraufziehen aus der Tiefe, wo etwas Queckſilber in die Kappe abſloß, wieder mit dieſem zuſammen und beobachtet die Differenz d in ihrem Stande; ſo war es in der Tiefe einer Temperatur ausgeſetzt, welche d° höher iſt als jene, bei welcher das Queckſilber die ganze Röhre ausfüllte. Man hat auch ein thermoelektriſches Element, das man mittelſt langer Drähte mit einem Multiplicator verbindet, als Geothermometer empfohlen. (Cordier in Schweigg. J. 52. 365; *Ann. de Chim.* 13. 283. Arago in ſeinem *Annuaire pour l'an* 1834. *p.* 171. Pogg. Ann. 31. 365; 32. 284; 34. 191; 35. 109. Die Wärmelehre des Innern unſeres Erdkörpers rc. von Dr. G. Biſchof. Leipzig 1837.) Ueber dieſes Kapitel iſt als Hauptquelle anzuſehen: *Recherches sur les causes des inflexions des lignes isothermes,* und: *Considérations sur le temp. et l'état hygrom. de l'air dans quelques parties de l'Asie. Par M. de Humboldt* in deſſen *Fragmens de Géologie et de Climatologie asiatiques. Paris* 1831. Dove's Repertorium der Phyſik. Bd. 3 u. 4. Kreil's aſtron. meteorologiſches Jahrbuch. 1. Jahrg. Prag 1842.

Drittes Kapitel.

Veränderungen im Drucke der Luft- und Dunſtatmoſphäre.

171. Wenn man ein Barometer nur eine kurze Zeit hindurch beobachtet, ſo überzeugt man ſich, daß es beſtändigen Veränderungen unterworfen ſey, und bald in ſchnelleren, bald langſameren, bald größeren, bald kleineren Oſcillationen ſteige und falle. Einige dieſer Veränderungen kommen von der verſchiedenen Temperatur des Queck-

ſilbers her; man kann aber den jedesmaligen Barometerſtand durch die l. 226 angegebene Correctionsmethode von dieſem Einfluſſe unabhängig darſtellen, und ſich überzeugen, daß wirklich Aenderungen im Drucke der ſchweren, die Atmoſphäre conſtituirenden Körper vorgehen. Eine gute Ueberſicht aller innerhalb einer beſtimmten Zeit vorfallenden Barometerveränderungen gewinnt man aus einer graphiſchen Darſtellung derſelben.

172. Zwiſchen den Wendekreiſen zeigen ſchon 24ſtündige Beobachtungen, daß der Barometerſtand regelmäßigen täglichen Veränderungen unterliege, die ſo ſcharf hervortreten, daß man aus denſelben beinahe die Tagesſtunde erkennen kann. Außerhalb der Wendekreiſe erfolgen dieſe Veränderungen ſcheinbar ganz unregelmäßig; aber etwa einen Monat lang fortgeſetzte Beobachtungen geben für die einzelnen Beobachtungsſtunden Mittelwerthe des Druckes, die von den unregelmäßigen Schwankungen frei ſind und einen regelmäßigen täglichen Gang deſſelben unzweifelhaft erkennen laſſen. Gegenwärtig iſt der Zuſtand unſerer Kenntniſſe in dieſem Fache folgender: Faſt auf der ganzen Erde, vom Aequator bis zu einer Breite von 79° und zu einer Höhe von 2000 Klaftern, erlangt das Barometer täglich zweimal ſeinen höchſten und eben ſo oft ſeinen niedrigſten Stand, und zwar erſteren zwiſchen 8½ und 10½ Uhr früh und zwiſchen 9 und 11 Uhr Abends, letzteren zwiſchen 3 und 5 U. Abends und zwiſchen 3 u. 5 U. Morgens; nur in Oſtindien ſollen dieſe Variationen, nach Horsburgh's Beobachtungen, von dieſer Regel abweichen und zur Regenzeit an einigen Orten ganz ausbleiben. Die Wendeſtunden rücken im Winter dem Mittage näher als im Sommer, und die tägliche Aenderung iſt im Monat April am größten. Mit wachſender geogr. Breite wird die tägliche Schwankung immer kleiner. Der Zuſtand der Atmoſphäre hat auf die Zeit dieſer Veränderungen keinen Einfluß, die Höhe eines Ortes ſcheint die Wendeſtunden dem Mittag näher zu bringen und die Größe der Schwankung zu vermindern.

Die tägliche Variation des Barometerſtandes beträgt zu Quito 2.82 Mill., Guayna (10° 36′ Br.) 2.44, Jamaika (17° 56′ Br) 1.45, canariſchen Inſeln (28° 8′ Br.) 1.10, Rom (41° 54′ Br.) 0.70, Marſeille (43° 18 Br.) 0.72, Straßburg (48° 34′ Br.) 0.80, Paris (48° 50′ Br.) 0.76, London (51° 31′ Br.) 0.38 in 74° Breite 0.10 Mill.

173. Wenn man, wie bei den Wärmebeobachtungen (163), aus den in jedem Monat erhaltenen Reſultaten die jeder Beobachtungsſtunde entſprechende Barometerhöhe, alſo für jede Stunde das Monatmittel berechnet, ſo erhält man aus dieſen den mittleren täglichen Gang des Barometers für jeden Monat. Der Durchſchnitt aller Monatmittel gibt ferner für jede Stunde den mittleren täglichen Gang des Druckes für das ganze Jahr. Vergleicht man nun dieſe jährlichen Mittel mit den zu derſelben Stunde gehörigen Monatmitteln, ſo findet man letztere bald größer, bald kleiner als erſtere. Es zeigt ſich aber dabei das merkwürdige Geſetz, daß in den Monaten Juni, Juli und Auguſt der Druck Vormittags meiſtens größer, Nachmittags meiſtens geringer iſt,

als nach dem Jahresmittel, in den ſpäteren Abendſtunden aber eine dieſen gleiche oder bedeutendere Größe erreicht. Im October, November und December findet ein entgegengeſetztes Verhalten Statt, der Monat Februar ſchließt ſich an dieſe Monate an; im April, Mai und September nähert ſich der Gang des Barometers mehr jenem der Sommermonate, im Januar und März iſt der Barometerſtand in den erſten Morgen- und ſpäteren Abendſtunden tiefer, in den übrigen Tagesſtunden höher als nach dem Jahresmittel. Es fällt demnach im Sommer der höhere Stand des Barometers, im Winter der niedere Stand deſſelben in die Zeit des täglichen Maximums, woraus natürlich folgt, daß der höchſte Barometerſtand im Sommer höher, der niedrigſte geringer ausfallen müſſe, oder daß die Variation im Sommer größer ſey als im Winter. Der abſolute Stand des Barometers iſt in der Regel im Winter höher als im Sommer, die jährliche Variation richtet ſich aber nach der Höhe und geogr. Breite eines Ortes und nach Localverhältniſſen. Sie wächſt mit der geographiſchen Breite und in der gemäßigten Zone auch mit der Höhe eines Ortes, in der kalten Zone nimmt ſie aber in der Höhe ab. An der Oſtküſte von Amerika iſt dieſe Veränderung bei gleicher Breite größer als an der Weſtküſte von Europa, und nimmt auch von da gegen das Innere von Europa immer mehr ab, ſo daß Linien, welche Orte von gleichen Aenderungen des atmoſphäriſchen Druckes mit einander verbinden (iſobarometriſche Linien), von der amerikaniſchen Küſte an nach Norden hinaufſteigen, bis ſie das Innere Aſiens erreichen, von wo ſie ſich wieder zu ſenken ſcheinen. Ueber der See ſcheint ſich der Barometerſtand öfter und regelmäßiger zu ändern, als in Binnenländern. Uebrigens bleibt für einen und denſelben Ort die mittlere Barometerveränderung von einem Jahre zum andern nahe gleich.

174. Das Mittel aus einer großen Anzahl von Barometerbeobachtungen an demſelben Orte gibt jenen Stand des Barometers, um welchen die Oſcillationen deſſelben erfolgen. Je größer die Anzahl der dazu gebrauchten Barometerhöhen iſt, deſto zuverläßiger fällt das Reſultat aus; es iſt aber auch nicht gleichgültig, an welcher Tageszeit die Barometerhöhe beobachtet wird. Der Barometerſtand zu Mittag weicht vom täglichen Mittel nur wenig ab, eben ſo das Mittel aus dem um 9 Uhr Abends und um 10 Uhr früh gefundenen. Jedoch iſt die Windesrichtung zur Zeit der Beobachtung nicht gleichgültig. Im mittleren Europa entſpricht der mittlere Druck einem Winde, der aus SW. kommt.

175. Wäre die Atmoſphäre vollkommen ruhig, ihre Temperatur und Zuſammenſetzung allenthalben dieſelbe, ſo könnte man auf theoretiſchem Wege den mittleren Druck an jedem Orte aus dem an einer beſtimmten Stelle bekannten Drucke durch Rechnung finden; allein die in der Luft ſtets vorhandenen Strömungen, ſo wie die Ungleichheiten der Temperatur machen dieſe Berechnungen aus theoretiſchen Gründen unmöglich, und man bleibt demnach hierin ganz der Erfahrung überlaſſen. Dieſe lehrt, daß der mittlere Druck an der Meeresfläche ſowohl von der geographiſchen Länge, als von der Breite ab-

hängig ſey. Er nimmt nach Erman ſowohl in der nördlichen, als in der ſüdlichen Halbkugel, von einem dem Aequator nahe gelegenen Breitenkreiſe an, ſowohl gegen Süd als gegen Nord bis zu einer gewiſſen Breite zu, von dieſen Grenzen an gegen die Pole hin aber wieder ab. Aus Schouw's Unterſuchungen (Pogg. Ann. 26. 395) ergeben ſich in Bezug auf den mittleren Barometerſtand an der Meeresfläche in der nördlichen Halbkugel, folgende Geſetze: Vom Aequator bis zu einer Breite von 15° hat der mittlere Luftdruck eine Größe von 337—338''' Par. M., in der Zone 15°—30° iſt das Mittel des Luftdruckes höher, nämlich 338—339''', in der Zone von 30°—45° gleich 337.5'''—339, zwiſchen der Breite von 45° und dem Polarkreiſe nimmt der mittlere Luftdruck bedeutend ab, und beträgt nur 337'''.5—338''', innerhalb des Polarkeiſes ſcheint der mittlere Druck wieder zu ſteigen. Was die Abhängigkeit des atmoſphäriſchen Druckes von der geographiſchen Länge betrifft, ſo ſcheint ſelbe durch die Mittheilungen von Erman (über meteorol. Beobachtungen bei einer Seereiſe um die Erde in Schumacher's Jahrbuch für 1840) außer Zweifel geſtellt, indem ſich dieſer Druck bei gleicher Breite und in derſelben Jahreszeit ſowohl in der ſüdlichen, als in der nördlichen Halbkugel größer zeigt im atlantiſchen, als in dem weſtlich von Amerika gelegenen großen Oceane, ein Umſtand, der ſchließen läßt, es ſeyen die Bewegungen der Atmoſphäre nicht bloße periodiſche Schwankungen um einen mittleren Zuſtand, ſondern fortdauernde Strömungen.

176. Die bisher dargeſtellten Geſetze des atmoſphäriſchen Druckes beziehen ſich auf die geſammten, ſchweren, die Atmoſphäre conſtituirenden Körper, mithin auf die vereinte Wirkung der trockenen Luft und der Waſſerdünſte. Da nämlich die Erde beſtändig mit Waſſer in Berührung ſteht und die herrſchende Temperatur nie jene Grenze erreicht, bei welcher das Waſſer fix iſt; ſo müſſen beſtändig Waſſerdünſte entſtehen, in der Luft ſich verbreiten und eine für ſich beſtehende, ſchwere Atmoſphäre bilden, und der Barometerſtand muß demnach den vereinten Druck der Luft und dieſer Dünſte anzeigen. Glücklicher Weiſe kann man durch hygrometriſche Unterſuchungen (I. 226) die abſolute Spannkraft des Waſſerdunſtes beſtimmen, und indem man die Höhe der ihr entſprechenden Queckſilberſäule von dem beobachteten Barometerſtande abzieht, den Druck der trockenen Luft finden. Man muß ſich daher, um die Aenderungen der trockenen Luft kennen zu lernen, vorerſt mit den Variationen des Dunſtdruckes vertraut machen. Dieſe befolgen eine tägliche und jährliche Periode. Es erreicht nämlich der Dunſtdruck im Sommer täglich zwei größte und zwei kleinſte Werthe, im Winter aber nur einen größten und einen kleinſten Werth. Das erſte Maximum des Sommers tritt um 8—9 Uhr Vormittags, das zweite um 10 Uhr Abends; das erſte Minimum um 5—6 Uhr Morgens, das zweite um 3—4 Nachmittags ein; das Minimum des Winters hat um 6—8 Uhr Vormittags, das Maximum um 4 Uhr Nachmittags Statt. Der Uebergang der vier Wendeſtunden des Sommers in die zwei des Winters erfolgt natürlich allmälig durch ſucceſ-

ſive Verſchiebung der Stunden des Maximums, und endliches Zuſammenfallen in eine einzige. Die Urſache dieſer Variationen des Dunſtdruckes ſcheint darin zu liegen, daß im Laufe des Tages ſowohl die Dunſtbildung, welche den Dunſtdruck vermehrt, als die aufwärts gerichteten Luftſtröme, wodurch der Dunſt vertheilt und ſein Druck an einer Stelle vermindert wird, mit der Temperatur ab- und zunehmen, und daß von beiden Wirkungen im Sommer bald die eine, bald die andere das Uebergewicht hat. Des Morgens herrſcht die geringſte Temperatur und die kleinſte Dunſtmenge, mithin auch der geringſte Dunſtdruck; ſo wie aber im Sommer die Temperatur ſteigt, nimmt mit der Verdunſtung auch die Anhäufung der Dünſte und deren Druck zu. Nach 8 — 9 Uhr beginnen jedoch die aufſteigenden Ströme, vermindern die Dünſte, und bringen ſie zur Zeit, wo ſie am mächtigſten ſind, nämlich nach der größten Tagestemperatur, wieder auf ein Minimum. Nach dieſem hören dieſe Ströme allmälig auf, die Verdunſtung dauert fort, der Dunſtdruck wächſt wieder und erreicht am Abend das Maximum. Von da geſtattet die niedere Temperatur keine Vermehrung der Dünſte mehr, ſondern es tritt vielmehr eine Zerſetzung derſelben ein, und ſomit erreicht ihr Druck zur Zeit der kleinſten Temperatur den kleinſten Werth. Im Winter können die faſt ganz fehlenden oder doch nur ſehr ſchwachen aufwärts gerichteten Ströme keine Dünſte wegführen, und es muß daher der Dunſtdruck faſt der Temperatur folgen. Der abſolute Dunſtdruck iſt natürlich im Sommer viel größer als im Winter (er beträgt bei uns nach Kreil's Beobachtungen in den Monaten Juli und Auguſt 4 — 6 P. L., im Winter 1 — 2 L.), und dasſelbe gilt von der Größe ſeiner täglichen Variation (nach Kreil bei uns im Sommer $^1/_2$ L., im Winter $^1/_{10}$ L.). Vergleicht man die den einzelnen Beobachtungsſtunden entſprechenden Monatsmittel mit den denſelben Stunden angehörigen Jahresmitteln, ſo erfährt man, daß im Sommer in den letzten Vor- und den erſten Nachmittagsſtunden, nämlich von 10 Uhr bis 4 — 6 Uhr das Monatsmittel kleiner, in den ſpäteren Abendſtunden hingegen größer ſey, als das Jahresmittel, und daß im Winter das Gegentheil Statt finde. Um 10 — 11 Uhr Vormittags und um 6 — 7 Uhr Abends ſcheint nach Kreil bei uns der Dunſtdruck dem mittleren Jahreswerthe am nächſten zu ſtehen.

177. In verſchiedenen Orten iſt bei übrigens gleichen Umſtänden der Druck des Waſſerdunſtes deſto kleiner, je größer die geogr. Breite des Ortes iſt, und zwar iſt die Abnahme des Druckes mit wachſender Breite im Winter größer als im Sommer. Dieſes hat Erman auf ſeiner Reiſe um die Erde durch directe Beobachtungen ausgemittelt; es läßt ſich aber auch ſchon daraus entnehmen, daß die Quantität des im Laufe eines Jahres an einem Orte verdünſteten Waſſers deſto größer iſt, in je geringerer Breite derſelbe liegt. Man kann dieſes durch Beobachtungen mittelſt des ſogenannten Atmometers ausmitteln, einem Waſſer enthaltenden und bis zum Waſſerſpiegel in einen größeren Waſſerbehälter eingeſenkten offenen Gefäße, in welchem man die Höhe der durch Verdünſtung verſchwundenen Waſſerſäule an einer Scale

meſſen kann. Der Dunſtdruck ſcheint auch von der geogr. Länge abzuhängen, wenigſtens erſcheint er bei gleicher Breite im atlantiſchen Ocean von dem im großen Ocean ziemlich verſchieden. Nach aufwärts muß die Größe des Dunſtdruckes aus einleuchtenden Gründen raſch abnehmen.

Folgende Tabelle gibt die Höhe der in einem Jahre verdünſteten Waſſerſäule in W Zollen ſo, wie ſie Verſuche, durch eine naturgemäße Hypotheſe ergänzt, angegeben:

Geographiſche Breite	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Jährliche Verdunſtung	66,6	63,6	55,5	44,9	34,4	25,7	19,4	15,3	13,1	12,4

Der Druck des Dunſtes iſt unter einerlei Breite im großen (I) und atlantiſchen Ocean (II) in P. Linien nach Erman wie folgt:

Geographiſche Breite . . .	0°	10°	20°	30°	40°	50°	Mittel
Dunſtdruck I	9,00	8,36	6,95	5.73	4,26	3,11	6.26
Dunſtdruck II	8,44	8,58	7,71	6.70	5,54	3,30	6.80

178. Man iſt nun mit Hülfe des Vorhergehenden im Stande, die Größe des Druckes der ganz dunſtloſen Atmoſphäre und die Veränderungen deſſelben zu finden. Dadurch erhält man die Ueberzeugung, daß der Druck der trockenen Luft täglich nicht zwei Maxima und zwei Minima, ſondern nur ein Maximum und ein Minimum habe, und daß die Zeit des Eintretens dieſer von den Jahreszeiten abhänge. Das Maximum tritt nämlich im Sommer um 6 Uhr, im Winter um 9 Uhr Morgens, das Minimum im Sommer um 6 Uhr, im Winter um 4 — 5 Uhr Abends ein. Nach Erman hat auch der Druck der trockenen Luft in jeder Hemiſphäre in einer dem Aequator nahen Zone den kleinſten Werth und wächſt von da an gegen die Pole hin bis zu einer beſtimmten Breite, und zwar noch raſcher als der geſammte atmoſphäriſche Druck. Er erreicht in einer gewiſſen Breite (45°) ſeinen größten Werth, und nimmt von da an weiter gegen den Pol hin nicht mehr ſo raſch ab, als dieſes mit dem geſammten Drucke der Fall iſt. Auch die geographiſche Länge zeigt einen Einfluß auf den Druck der dunſtloſen Luft.

179. Entſteht nun die Frage, woher die Veränderungen des Barometerſtandes rühren, ſo ſieht man leicht ein, welch großen Antheil an denſelben die größere oder kleinere Dunſtmenge habe. Doch kann einem nicht entgehen, daß auch die Temperaturänderungen und die Luftſtröme hiebei eine große Rolle ſpielen. Wird nämlich die Luft in einer Gegend ſtärker erwärmt als in der Umgebung, ſo dehnt ſie ſich daſelbſt nach aufwärts aus, und die ganze Luftſäule wird verlängert. Der verlängerte Theil hat nun nicht mehr wie früher an der ſeitwärts angrenzenden Luft eine Stütze, und muß ſich demnach über dieſelbe ergießen. Die erwärmte Luftſäule iſt nun wohl nahe wieder ſo hoch, als vor der Erwärmung, aber die Maſſe der Luft und daher auch ihr Druck iſt vermindert, und ein an der Baſis der fraglichen Luftſäule befindliches Barometer muß fallen, während die Luftmaſſe der Umgebung durch die über ſie ſich ergießende erwärmte Luft vermehrt und ein daſelbſt befindliches Barometer zum Steigen gebracht

wird. Bewegte Luft übt ſchon ihrer Natur nach einen geringeren Druck auf ihre Umgebung aus, als ruhende (I. 341), und ſomit muß eine Luftbewegung eine Verminderung des Barometerſtandes zur Folge haben. Man hat ſchon lange eine Einwirkung des Mondes und der Sonne auf den Barometerſtand vermuthet, weil dieſe Körper durch ihre anziehende Kraft auf die Atmoſphäre wirken, und dadurch in derſelben eine Art Ebbe und Fluth erzeugen, wodurch die Geſtalt der Erde und die Baſis der Atmoſphäre verändert und ſomit auch die Anziehung der Erde zur Atmoſphäre modificirt wird. Nach der Theorie ſoll die hiedurch bewirkte Aenderung im Luftdrucke nur $^1/_{100}$ P. L. betragen, aber zweckmäßig benützte Beobachtungen ließen Kreil ſchon dieſe Wirkung der täglichen Bewegung des Mondes gleich $^1/_{10}$ P. L. erkennen, jene der Sonne hingegen drei- bis ſechsmal größer. Höchſt merkwürdig iſt die ebenfalls von Kreil zuerſt gemachte Bemerkung, daß die Wirkung des Mondes auf die Atmoſphäre bei ſeiner täglichen Bewegung im Sommer zwei Maxima und zwei Minima erzeugt, und daß die Wendeſtunden, nach Mondeszeit gezählt (d. h. an einer Uhr, die Mittag zeigt, wenn der Mond über dem Horizont, und Mitternacht, wenn er unter dem Horizont durch den Meridian geht), mit jenen übereinſtimmen, in welchen, nach Sonnenzeit ausgedrückt, die Wendungen des Barometerſtandes täglich eintreten. Im Winter wird aber nur ein tägliches Maximum und ein Minimum in der Wirkung des Mondes bemerkt. (Kreil's aſtron. meteorologiſches Jahrbuch. 1. Jahrgang.)

Viertes Kapitel.

Luftſtrömungen.

180. Jede im Verhältniſſe zur Erdoberfläche fortſchreitende Bewegung der Luft heißt Wind. Die zugleich mit der Erde Statt findende Axendrehung der Atmoſphäre macht daher keinen Wind, wohl aber muß jede Aenderung der Ausdehnſamkeit der Luft einen ſolchen erzeugen. Lüftchen, Sturm, Orcan ſind nur dem Grade nach verſchiedene Winde. Die verſchiedenen Winde unterſcheiden ſich von einander vorzüglich durch ihre Richtung und Stärke, welche letztere wieder von ihrer Geſchwindigkeit abhängt.

181. In der Regel benennt man einen Wind nach der Weltgegend, von welcher er bläſt. Stimmt dieſe nicht mit einer der vier Hauptweltgegenden überein, ſo ſetzt man den Namen aus den Hauptweltgegenden zuſammen, zwiſchen welche ſeine Richtung fällt, nennt aber immer Süd oder Nord zuerſt. So führt ein Wind, der von einer Gegend herbläſt, die mitten zwiſchen Nord und Weſt liegt, den Namen Nordweſtwind (nicht Weſtnordwind); jener, deſſen Richtung mitten zwiſchen Süd und Oſt liegt, Südoſtwind (nicht Oſtſüdwind). Winde, die aus einer Gegend kommen, welche zwiſchen Nordoſt, Südoſt, Südweſt, Nordweſt und einer Hauptweltgegend liegt, be-

kommen den Namen aus dieſer und der Hauptgegend. Sie heißen demnach Nordnordoſt=, Oſtnordoſt=, Oſtſüdoſt=, Südſüdoſt=, Südſüdweſt=, Weſtſüdweſt=, Weſtnordweſt=, Nordnordweſtwinde. Man erkennt die Richtung der Winde aus der Richtung freiſtehender Dachfahnen, aus der Bewegung der zarten Baumäſte, in Ermanglung eines andern Mittels auch aus der ſchiefen Richtung einer herabfallenden Feder. Ein benetzter in die Luft emporgehobener Finger iſt ſtets an der Windſeite am kälteſten.

182. Die Stärke (Geſchwindigkeit) des Windes berechnet man aus der Bewegung eines leichten Körpers, z. B. einer Feder, aus dem Parameter der Bahn eines durch den Wind fortgetriebenen und zugleich durch die Schwere vertical herabgezogenen Körpers oder mittelſt eigener Inſtrumente, die Anemometer heißen, und unmittelbar entweder die Höhe angeben, bis zu welcher ein beſtimmtes Gewicht durch den Wind gehoben wird, oder die Größe der Verſchiebung einer beſtimmten Laſt oder endlich die Umdrehungszahl kleiner Windflügel, aus denen ſich durch Rechnung die Geſchwindigkeit finden läßt. Wollaſton's Differenzialbarometer dürfte auch ein hiezu brauchbares Werkzeug abgeben. Herrſcht nämlich an einem Orte der Luftdruck p, an einem andern der Druck g, ſo geht nach Schmidt aus dieſem Unterſchiede des Druckes ein Wind von der Geſchwindigkeit $v = \frac{p-g}{2} . 1215$ P. F. hervor. Die Größen p und g mißt man aber am leichteſten mittelſt des letztgenannten Inſtrumentes (Theorie und Gebrauch des hydrometriſchen Flügels von Woltmann. Hamburg 1790. Schmidt's Windmeſſer in Pogg. Ann. 14. 59). Mäßige Winde haben in unſeren Gegenden eine Geſchwindigkeit von 12—15 F., bei einer Geſchwindigkeit von 32 Fuß gehören ſie ſchon zu den Stürmen. Man will aber ſchon Stürme von 120 Fuß Geſchwindigkeit beobachtet haben.

183. Alle Bewegungen der Luft werden zunächſt durch eine Aenderung ihrer Ausdehnſamkeit hervorgebracht, und die Ausdehnſamkeit der Luft wird in der Atmoſphäre faſt immer durch die Temperatur geändert. Es iſt in 179 gezeigt worden, daß die locale Erwärmung der Luft ein Ueberfließen derſelben auf die benachbarten Schichten in den oberen Regionen, alſo einen Wind vom warmen zum kälteren Orte zur Folge habe. Aber in den unteren Regionen muß die Luft vom kälteren Orte zum wärmeren hinſtrömen, weil in letzterem die durch den aufwärts gerichteten Strom verminderte Luftmaſſe dem Luftdrucke der benachbarten Luftſchichten nicht gewachſen iſt. Demnach hat die ungleiche Erwärmung der Luft über zwei neben einander befindlichen Gegenden auch zwei einander entgegengeſetzte, über einander befindliche Winde zur Folge, unten von der kälteren Gegend zur wärmeren, oben von der wärmeren zur kälteren. Erſtrecken ſich die Ströme nicht auf mehrere Breitengrade, ſo hat auf ihre Richtung die Axendrehung der Erde keinen Einfluß, bei weiter Erſtreckung hingegen macht ſich dieſer Einfluß wohl bemerkbar, wie nachher gezeigt

werden wird. Es iſt leicht einzuſehen, daß bei der verſchiedenen Erwärmungsfähigkeit von Waſſer und feſtem Land, ja verſchiedener Theile des feſten Landes ſelbſt, die erwärmende Kraft der Sonne ununterbrochen Veranlaſſung zu Luftſtrömungen werden muß, um ſo mehr, als die Atmoſphäre nicht immer und nicht allenthalben den Strahlen derſelben bis zur Erde durchzudringen erlaubt, ſondern häufig Wolken ihrem directen Einfluſſe locale Hinderniſſe in den Weg ſetzen.

184. Das Aufſteigen der Luft muß natürlich in der heißen Zone wegen der dort herrſchenden ſtarken Erwärmung am kräftigſten vor ſich gehen, und deßhalb muß daſelbſt auch das Zuſtrömen der Luft von den Seiten am merklichſten ſeyn. Die aus Nord und Süd kommenden Ströme haben eine kleinere Rotationsgeſchwindigkeit, als der Gegend entſpricht, wohin ſie zielen, ſie bleiben darum in der Richtung von Weſt nach Oſt zurück, und erſcheinen demnach als öſtliche Ströme. Darum muß dort, wo die Sonne im Zenith ſteht, und wohl auch in einiger Entfernung davon, ein beſtändiger Oſtwind (Paſſatwind) herrſchen. Da, wo die zwei entgegengeſetzten Ströme gleiche Stärke haben, heben ſie ſich auf, und der Wind erſcheint rein öſtlich; außerhalb dieſer Grenze aber entſteht durch Zuſammenſetzung des Nordſtromes mit dem aus der Arendrehung der Erde hervorgehenden Oſtſtrome ein NO., durch Zuſammenſetzung des Südſtromes mit demſelben Oſtwinde ein SO. Wind. Demnach hat man drei Gürtel. In dem mittleren derſelben herrſcht ein ſchwacher Oſtwind, der oft von Stürmen unterbrochen wird, und dieſe Region heißt die der Calmen. An der Nordſeite dieſer Region iſt die des NO. Paſſates, an der Südſeite jene des SO. Paſſates. Behielte die Sonne immer dieſelbe Abweichung, ſo würden dieſe Zonen unverändert bleiben; wegen der Aenderung der Abweichung der Sonne rücken ſie aber insgeſammt gegen Nord oder Süd, je nachdem die Sonne gegen den nördlichen oder ſüdlichen Wendekreis zu geht. Die mittlere Breite der Region der Calmen iſt nahe 6°, wächſt aber im Auguſt bis auf $9°\,^3/_4$, und vermindert ſich im December auf $2°\,^1/_4$. Die Breite der Zone zwiſchen dem NO. und SO. Paſſate wechſelt in verſchiedenen Jahreszeiten zwiſchen $3°\,^1/_3$ und 8° 5′, und beträgt im Durchſchnitte 5° 52′. Der NO. Paſſat herrſcht zwiſchen 2° u. 13° n. B., der SO. Paſſat zwiſchen 2° u. 21° ſ. B. Demnach liegt der größere Theil der Region der Calmen in der nördlichen Halbkugel. Dieſe Windverhältniſſe treten über großen Meeren am reinſten hervor, weil da die Erwärmung weniger durch fremdartige Einflüſſe geſtört wird, als auf dem feſten Lande, und nicht wie da andere Nebenſtrömungen entſtehen. In der That bemerkt man den Paſſat auch am deutlichſten in den drei großen Meeren der heißen Zone, im großen Ocean zwiſchen Amerika, Aſien und Neuholland, im atlantiſchen und im indiſchen Meere, jedoch mit Modificationen, die von den Eigenthümlichkeiten dieſer Meere, von der Nähe der Küſten, von der Geſtalt, Erhebung und Richtung derſelben, und ihrer verſchiedenen Erwärmungsfähigkeit herrühren. Dadurch werden die Paſſatwinde auch in die beſtändigen Küſtenwinde um-

gewandelt. Der an der Weſtküſte Mexico's herrſchende beſtändige Weſtwind, der an den braſilianiſchen Küſten wehende Südwind verdankt beſagten Verhältniſſen ſeinen Urſprung. Dem unteren Paſſatwinde muß in der oberen Luftregion ein gerade entgegengeſetzter entſprechen, und demnach nördlich von dieſer Region ein Südweſtſtrom, ſüdlich davon ein Nordweſtſtrom beſtehen. In der heißen Zone befinden ſich dieſe zwei Ströme, der Aequatorial- und der Polarſtrom, deren jeder eine beſtimmte Richtung hat, über einander, und davon rührt die große Regelmäßigkeit der Windverhältniſſe dieſer Gegenden her. Je weiter der Aequatorialſtrom ſich von ſeinem Urſprunge entfernt, deſto mehr kühlt er ſich ab und ſinkt herunter, ſo daß zuletzt beide Ströme neben einander hinfließen. In welcher Höhe die Grenze der zwei entgegengeſetzten Paſſate liege, iſt nicht ganz ausgemacht. Auf der Silla de Caraccas fand Humboldt den Paſſat noch in der Höhe von 1350 Klaftern, auf Teneriffa herrſcht aber ſchon in der Höhe von 1500 Kl. ein Weſtwind.

185. Einige Gegenden gehören immerfort der Region der Paſſatwinde an, wiewohl dieſe Region der Sonne folgt, und ſich daher mit ihr nach N. und S. verſchiebt; in andern Gegenden herrſcht der Paſſatwind nur einen Theil des Jahres hindurch, ſo lange nämlich die Sonne, vermöge ihrer Abweichung, dieſe Gegend zur Paſſatregion macht. Daſelbſt tritt alſo der Paſſatwind ſchon als ein periodiſch wiederkehrender und ausſetzender Wind auf. Dieſes iſt im atlantiſchen Ocean zwiſchen 24 — 32° n. Br. der Fall. Solche an beſtimmte Jahreszeiten gebundene Winde heißen Mouſſons. Sie herrſchen einen Theil des Jahres hindurch nach einer beſtimmten Richtung, und ſetzen den übrigen Theil ganz aus, oder wehen nach entgegengeſetzter Richtung. Von letzterer Art ſind die in einem großen Theile des indiſchen Meeres, an den Küſtenländern Aſiens und Afrika's herrſchenden Winde. Ihr Grund liegt in der ungleichen Erwärmung der dieſes Meer einſchließenden Länder, welche zur ſelben Zeit gerade entgegengeſetzte Jahreszeiten haben. Während der nördlichen Abweichung der Sonne haben wirklich nördlich gelegene Grenzländer die höhere Temperatur, und der Wind weht über das Meer aus Südweſt; während der ſüdlichen Abweichung der Sonne hingegen kommt den ſüdweſtlich gelegenen Ländern die höhere Temperatur zu, und darum herrſcht über dem Meere ein Nordoſtwind. (Dove in Pogg. Ann. 21. 177.)

186. Von derſelben Art, wie die letztgenannten Winde, ſind auch die Land- und Seewinde, nur mit dem Unterſchiede, daß ihre Periode nicht ein Jahr, ſondern nur einen Tag beträgt. An den Küſtenländern bläſt nämlich Nachts in der Regel der Wind vom Land zur See, des Tages von der See auf das feſte Land hin, weil ſich das Land bei Tage eher und ſtärker erhitzt als der Spiegel des Waſſers, Nachts aber auch ſchneller und ſtärker abkühlt. Solche periodiſche Winde herrſchen nicht bloß an den Küſtengegenden des Meeres, ſondern auch in langen Thälern und Schluchten, an den Ufern großer Seen, wie z. B. am Gardersee, am Bodenſee ꝛc. (Fournet in Pogg. Ann. Ergänz. 1. 490.)

187. Die zwei entgegengeſetzten Hauptſtröme (nämlich der NO. und SW. Strom), welche die Windverhältniſſe der heißen Zone beſtimmen, ſind auch die Haupturſachen der in den gemäßigten und kalten Erdgürteln herrſchenden Luftbewegungen. Daß hier die Winde nicht immer ſo conſtante Richtungen haben, wie zwiſchen den Wendekreiſen, ja daß es ſogar in den Augen des im Beobachten Ungeübten den Anſchein haben mag, als wenn in Bezug auf Windesrichtung in der gemäßigten und kalten Zone gar keine beſtimmte Regel gälte, rührt nur von dem Umſtande her, daß hier die zwei Luftſtröme nicht mehr über, ſondern neben einander hinfließen, ſich gegenſeitig zu verdrängen ſuchen, und daß durch Zuſammenwirken beider Winde eine Mittelrichtung erzeugt wird. Da, wo beide Winde neben einander fortſtrömen, entſtehen große Wirbel, die natürlich alle Windesrichtungen in ſich ſchließen, und Gegenden, wo dieſes Statt findet, haben darum ſehr veränderliche Winde; in der Mitte der zwei Hauptſtröme aber herrſcht eine beſtimmte Windesrichtung anhaltend. Hat z. B. irgendwo der NO. das Uebergewicht, ſo wird er, je weiter er aus NO kommt, durch die Axendrehung der Erde immer mehr öſtlich und endlich zu einem reinen Oſtwinde, und dieſer dauert in der Regel, bis der SW. das Uebergewicht zu erhalten anfängt. Dieſes macht ſich zuerſt dadurch bemerklich, daß durch Zuſammenſetzung des O. mit dem SW. wieder ein SO. und S. Wind hervorgeht, endlich aber in einen reinen SW. übergeht, der aber vermöge der Axendrehung der Erde bald zu einem W. Wind wird Dieſer kann nur wieder durch den NO. verdrängt werden, aus deſſen Zuſammenſetzung mit dem W. Winde ein NW. u. N. Wind hervorgeht, und endlich als reiner NO. Wind erſcheint. Daher kommt es, daß der Wind in der Regel in den Richtungen S., W., N., O., S. wechſelt und nicht umgekehrt. In der ſüdlichen Halbkugel erfolgt die Drehung im entgegengeſetzten Sinne. Daß der nördliche Strom, als der kältere, immer zuerſt in den unteren, der ſüdliche, als der wärmere, zuerſt in den oberen Regionen eintreten müſſe, iſt für ſich klar, ſo wie es eine natürliche Folge des vorgenannten Drehungsgeſetzes iſt, daß die Winde der Weſtſeite dem Uebergange des ſüdlichen Stromes in den nördlichen, die der Oſtſeite dem Uebergange des nördlichen in den ſüdlichen folgen.

188. Was nun die Windverhältniſſe einzelner Orte anbelangt, ſo hat Schouw gezeigt, daß die an jedem Orte herrſchende mittlere Richtung der Winde nahe eine beſtändige Größe ſey. Er zeigt, daß im nördlichen mittleren Europa die Winde der Weſtſeite über jene der Oſtſeite das Uebergewicht haben, daß aber dieſes Uebergewicht vom atlantiſchen Ocean gegen das Innere des Landes hin abnehme. Nahe am atlantiſchen Meere haben die weſtlichen Winde mehr eine ſüdliche Richtung, gegen das Innere des Landes werden ſie gerade Weſt- oder Nordweſtwinde. Im ſüdlichen Europa haben die nördlichen Winde das Uebergewicht. Im Winter iſt die Windesrichtung meiſt ſüdlicher als durchſchnittlich im übrigen Theile des Jahres; im Frühlinge treten oft Oſtwinde, im Sommer Weſtwinde und im Herbſte Südwinde ein.

Daß auch die Tageszeit auf die Windesrichtung einen Einfluß ausüben müſſe, iſt für ſich klar, aber noch nicht näher durch Beobachtungen beſtimmt. Die Stärke der Winde iſt im Winter (Jänner und Februar) am größten; ſie hängt auch von der Tageszeit ab, und ſcheint vom Morgen gegen Mittag zu wachſen und von da wieder abzunehmen.

Man darf nicht vergeſſen, daß das, was man mittlere Windesrichtung nennt, nur eine durch Rechnung gefundene, nicht wirklich vorhandene Größe ſey, etwa wie die mittlere Temperatur oder die Reſultirende einer gegebenen Anzahl von Kräften; deßungeachtet iſt die Einführung dieſer Größe von großem Nutzen. Sie verſinnlichet uns gleichſam das Daſeyn zweier neben einander befindlichen Ströme, deren einer eine nordöſtliche, der andere eine ſüdweſtliche Richtung hat, deren Grenzlinie veränderlich iſt, und bald jenes, bald dieſes Land trifft. Die geringe Erwärmung des atlantiſchen Oceans während des Sommers verſtärkt, die geringe Erkaltung des Oceans im Winter ſchwächt die weſtliche Richtung des Windes. Bezeichnet man die Richtung des Südwindes mit 0°, die des Weſtwindes mit 90°, des Nordwindes mit 180° und des Oſtwindes mit 270°; ſo iſt die mittlere Windesrichtung in England 60°, Frankreich und Niederlande 88°, Deutſchland 76°, Dänemark 62°, Norwegen 59°, Rußland, Polen und Ungarn 177°. (Meteorologiſche Unterſuchungen von H. W. Dove. Berlin 1837. Beiträge zur Climatologie von Schouw. 1. Heft. Dove in Pogg. Ann. 13. 583. Schübler und Kämtz in Schweigg. J. 52. 257; 55. 135. *Tableau des vents, des marées et des courans etc. par* Romer. *Paris* 1806.)

189. Zwei einander entgegengeſetzte, in den oberen Regionen herrſchende Winde erzeugen oft jene merkwürdigen, ſich nach unten verbreitenden Wirbel, die man Wetterſäulen, wenn ſie über Waſſer erſcheinen, Waſſerhoſen, wenn ſie ſich über Land zeigen, Sandhoſen zu nennen pflegt. Eine ſolche Wetterſäule beſteht aus einem hohlen, geraden oder krummen Doppelkegel (Fig. 394), der durch eine ſeiner Baſen mit einer Wolke, durch die andere mit der Erde zuſammenhängt, ſich um ſeine Axe dreht und dabei in fortſchreitender Bewegung begriffen iſt. Der obere Theil beſteht aus Wolkenmaſſe, der untere nach Umſtänden aus Waſſer oder Staub und andern feſten Körpern; der größte Durchmeſſer jedes derſelben wechſelt von einigen bis zu 5000 — 6000 Fuß, die Höhe zwiſchen 30 und 2000 F. Die Farbe einer ſolchen Wetterſäule ſtimmt mit jener der Wolken überein, und iſt meiſtens grau, dunkelblau, wohl auch dunkelbraun und ſogar feuerroth; der mittlere Theil einer Waſſerhoſe iſt meiſt durchſichtig. Die Geſchwindigkeit, mit der ſie fortſchreitet, iſt ſehr verſchieden; man hat ſolche beobachtet, die in einer Stunde 7 — 8 Meilen zurücklegten, und wieder andere, denen man leicht zu Fuß folgen konnte. Ihre Bahn iſt oft gerade, manchmal auch gebrochen, ſogar zickzackförmig, aber immer iſt eine beſtimmte Richtung vorherrſchend, und wie es ſcheint, jene der herrſchenden Winde. Beim Fortrücken hebt und ſenkt ſie ſich abwechſelnd und dreht ſich dabei mit veränderlicher, oft ſehr großer Geſchwindigkeit um ihre Axe. Die rotirende Bewegung erzeugt eine Fliehkraft und dieſe bewirkt in der Axe der Kegel eine ſtarke Luftverdünnung, welche die mechaniſche Kraft dieſes Phänomens, die ſchon vermög der

fortſchreitenden Bewegung bedeutend iſt, ſehr verſtärkt. Vermöge dieſer Kraft werden Bäume, die ihr in den Weg kommen, entwurzelt, Häuſer abgedeckt, umgeſtürzt oder gar verſetzt, ſchwere Balken mehrere hundert Fuß weit fortgeführt, leichte Körper aber ſelbſt Meilen weit fortgeſchafft. Nur von der dabei vorhandenen Luftverdünnung läßt es ſich erklären, wie weiche Körper, wie z. B. Linnenzeuge, Schnupftücher ꝛc. in die Ritzen der Wände ſo eingetrieben werden können, als hätte man ſie abſichtlich hineingeſtopft, und wie es möglich wird, daß Fußböden aufgehoben werden. Die dabei vorkommenden elektriſchen Erſcheinungen, als ein ſchwefeliger Geruch, Hagel und Blitze, ſcheinen bloß Wirkungen der Wirbel zu ſeyn, nicht aber, wie man ſonſt glaubte, einen elektriſchen Urſprung des Phänomens ſelbſt zu begründen. (Demaiſtre in Schweigg. J. 7. 291. Oerſted in Schumacher's Jahrbuch für das Jahr 1840. S. 228)

190. Die Winde, meiſtens ein Erzeugniß der Temperaturveränderungen, nehmen ſelbſt einen großen Einfluß auf die Temperatur der Luft, ſo daß jedem Winde an einer beſtimmten Stelle der Erde eine beſtimmte mittlere Temperatur entſpricht, und es alſo wirklich eine thermiſche Windroſe gibt. Die mehr nördliche Windesrichtung ſetzt im Sommer die Temperatur herab, die mehr ſüdliche erhöht ſie im Winter; im Frühling und Herbſt iſt dieſer Einfluß von geringerer Bedeutung, doch ſchließt ſich der Frühling an den Sommer, der Herbſt an den Winter an. Die Temperaturunterſchiede der Winde ſind nicht das ganze Jahr gleich, ſondern nehmen von den kälteren zu den wärmeren Monaten hin ab; derſelbe Wind hat auch nicht das ganze Jahr hindurch einerlei thermiſchen Werth, der NO. ändert ſich in dieſer Beziehung am meiſten, der SW. am wenigſten. Bei OSO. und S. Winden ſteigt das Thermometer, bei SW. geht es vom Steigen in Fallen über, bei WNW. und N. Winden fällt es, und bei NO. geht es vom Fallen in Steigen über. Der kälteſte Wind kommt bei uns durchſchnittlich etwas öſtlich von N., der wärmſte etwas weſtlich von S. Im Winter und Frühling kommt der kälteſte Wind mehr von O., der wärmſte mehr von W., im Sommer aber liegt der Ort des kälteſten Windes weſtlich von N., der des wärmſten öſtlich von S. Am merkwürdigſten ſind in Bezug ihres Einfluſſes auf die Temperatur die heißen, trockenen, vielleicht giftigen Winde, welche in ſüdlichen Ländern zeitweilig herrſchen, und in verſchiedenen Orten verſchiedene Namen führen, wie Sirocco, Chamſin, Samum und Harmattan. (Kämtz in Schweigg. J. 30. 145.)

Sirocco heißt in Italien der ermattende, beſonders nervenſchwächende unangenehm afficirende Südwind. Er erſtreckt ſich bis nach Tirol und Steiermark. Chamſin, Samum und Harmattan iſt ein heißer, erſtickender Wind, der in Arabien, Perſien, Syrien, Nubien und Aegypten ꝛc. zeitweilig herrſcht. In letzteren Ländern heißt er Chamſin (arabiſch: fünfzig, weil er fünfzig Tage wehen ſoll). Rußegger, der ihn ſelbſt beobachtete, ſagt, er folge immer auf heitere, windſtille, drückend heiße Tage. Beim Eintritte deſſelben erheben ſich dichte ſchwarze Wolken, denen bald andere feuerrothe folgen, es verbreitet ſich ein

ſtrahles, röthlichgelbes Licht, Thiere und Menſchen verbergen ſich. Bald unterbricht ein dumpfes Raſſeln und Kniſtern die Todtenſtille, die Wolken ſcheinen ſich auf die Erde hinzuſchieben, und in einem Nu iſt man mit Sand und Staub bedeckt. Häufig ſchließt ein Regen und ein heftiges Gewitter dieſes Phänomen. Dieſer Wind weht nur in der Regenzeit, und zwar im Anfange derſelben, und kommt meiſt aus SO. Der Samum iſt nach dieſem Beobachter ein Wind der Wüſte; er weht zu verſchiedenen Jahreszeiten, aus verſchiedenen Weltgegenden, und iſt nicht periodiſch wie der Chamſin. Er iſt ein gewöhnlicher, über den ſtark erhitzten Boden hinſtreichender, viel Staub und Sand mit ſich führender Sturmwind.

Fünftes Kapitel.

Feuchtigkeitszuſtand der Atmoſphäre und Waſſermeteore.

191. Es iſt aus I. 264 bekannt, daß die Spannkraft oder der Druck der in der Atmoſphäre enthaltenen Dünſte nicht den Feuchtigkeitszuſtand der Luft, d. h. die größere oder geringere Neigung derſelben, Waſſer abzuſetzen bedinge, ja daß bei größerem Dunſtdrucke ſogar eine größere Trockenheit herrſchen könne. Der Feuchtigkeitszuſtand hängt nämlich von dem Verhältniſſe der Spannkraft der vorhandenen Dünſte zu dem der beſtehenden Temperatur entſprechenden Maximum der Spannkraft ab, und erlangt einen deſto größeren Werth, je mehr ſich die eine dieſer Spannkräfte der anderen nähert. Bezüglich des Feuchtigkeitszuſtandes lehrt nun die Erfahrung, daß derſelbe täglich einen größten und kleinſten Werth erlange, und zwar erſteren zur Zeit der kleinſten, letzteren zur Zeit der größten Tagestemperatur. Die tägliche Variation iſt im Winter am kleinſten, im Frühling am größten. Im Laufe eines Jahres nimmt der Grad der Feuchtigkeit von ſeinem größten Werthe, der im Winter eintritt, bis zum Monat April, wo ſein Minimum Statt findet, ab, und ſteigt vom Monat April an wieder allmälig. In verſchiedenen Breiten hat die Fenchtigkeit zur ſelben Zeit verſchiedene Werthe; ſie nimmt nach Erman vom Aequator bis zur Breite von 20° ab, und von da weiter gegen die Pole hin wieder zu. Nach oben nimmt die Feuchtigkeit nach Umſtänden bald zu, bald ab, und es iſt in dieſer Beziehung kein allgemein gültiges Geſetz bekannt.

Der mittlere Feuchtigkeitsgrad auf dem Meere iſt in verſchiedenen Breiten im Winter und Sommer in P. L., wie nachfolgende Tabelle zeigt:

Geographiſche Breite . .	0°	10°	20°	30°	40°	50°
Feuchtigkeit im Jahre . .	0,843	0,827	0,796	0,828	0,840	0,865
» im Winter . .	0,843	0,813	0,812	0.847	0,861	0,879
» im Sommer .	0,843	0,841	0,780	0,809	0,819	0,850

Die größte zwiſchen 0° — 55° Breite, 14 Fuß über dem Meere beobachtete Feuchtigkeit betrug 0.970, der Mittelwerth 0,834. Im atlantiſchen Ocean beobachtete Erman einige Male im Auguſt 1830 zwi-

ſchen 35° und 37° n. Br. eine Feuchtigkeit von nur 0.532 und im März 1830 bei 45° ſ. Br. 0,577. In London iſt der mittlere Feuchtigkeitsgrad nach Daniell 0,865, in Paris 0,597; in der aſiatiſchen Steppe Platowskaja fand Humboldt nach anhaltendem Südoſtwinde um 1 Uhr Nachmittags bei einer Lufttemperatur von 23° 7 C. die Feuchtigkeit = 0,17.

192. Die Feuchtigkeit erlangt vielleicht niemals bloß durch fortſchreitende Verdunſtung den größten Werth, wohl aber ſehr oft durch Temperaturveränderung und durch Vermengung feuchter Luftmaſſen von ungleicher Temperatur. Wird z. B. Luft mit einer Feuchtigkeit von 0.8° und einer Temperatur von 16° C., mithin mit einer Spannkraft der Dünſte von 4.766 L. auf 11° C. abgekühlt; ſo hat ſie den größten Feuchtigkeitsgrad überſtiegen. Denn einer Temperatur von 11° C. entſpricht als Maximum der Dunſtſpannung 4.587. Wird eine Luftmaſſe von 20° C. Temperatur und 0.80 Feuchtigkeit alſo mit einem Dunſtdrucke von 7.295 L. mit einer anderen gemengt, deren Temperatur 6° C., deren Feuchtigkeit 0.93, mithin deren Dunſtdruck 3.133 beträgt; ſo reſultirt daraus ein Gemenge von 13° Temperatur, in welchem nur Dünſte von 5.183 Spannkraft beſtehen können. Die mittlere Dunſtſpannung des Gemenges beträgt aber $\frac{7.295 + 3.133}{2} = 5.214$ und das Gemenge hat demnach den Punct der größten Feuchtigkeit ſchon überſchritten.

193. Sobald die Dünſte das Maximum ihrer Dichte überſchritten haben, bilden ſie kleine Tröpfchen, welche die Luft verdunkeln und trübe machen, weil die auffallenden Lichtſtrahlen ſo häufig eine theilweiſe Reflexion erfahren. Sie bleiben in der Luft ſchweben, bis ſie eine gewiſſe Größe erreicht haben, oder in die Nähe hygroſkopiſcher Körper kommen. Sie erhalten ſich in der Luft, ungeachtet ihre Dichte jene der Luft vielmal übertrifft, 1) weil ſie wegen ihrer feinen Vertheilung eine im Verhältniß zu ihrer Maſſe zu große Oberfläche haben, und daher nur äußerſt langſam ſinken können; 2) weil immer wärmere Luftſtröme aufwärts gehen und dem Fallen der Waſſertheile entgegenwirken; 3) weil ſie durch die vielen Reflexionen, welche ein Sonnenſtrahl erleidet, der die mit ſo vielen Kügelchen geſchwängerte Luft trifft, der Luft die Durchſichtigkeit benehmen, und eben deßhalb bewirken, daß die Luftſchichte, welche ſie enthält, mehr von der Sonne erwärmt wird, als die reine durchſichtige Luft, und daher auch ein geringeres ſpecifiſches Gewicht erlangt, in die Höhe zu ſteigen ſucht, und die Dunſtkügelchen zu fallen hindert. Vergrößern ſich die Waſſerkügelchen, ſo fallen ſie doch herab, und erzeugen die bekannten, wäſſerigen Lufterſcheinungen, Thau, Reif, Nebel, Wolken, Regen, Schnee und Hagel.

194. Der Thau erſcheint als ein wäſſeriger Beſchlag an der Oberfläche der Körper im Freien. Ueber ſein Entſtehen verdanken wir Wells die meiſte Aufklärung. Seinen Erfahrungen gemäß zeigt ſich der Thau nach einem heitern Tage zwar ſchon Abends im beſchatteten

Graſe, aber erſt nach Sonnenuntergang entſteht er reichlich und vermehrt ſich die ganze Nacht hindurch. Die Menge des gefallenen Thaues beträgt in heiteren, windſtillen Nächten am meiſten, eine geringe Bewölkung mindert ihn, ein dicker Ueberzug des Himmels verhindert ſein Entſtehen ganz. Er fällt reichlicher nach heißen Tagen und bei feuchter Luft, als wenn die Wärme und Feuchtigkeit der Luft gering war, und überhaupt nach Mitternacht mehr als vor Mitternacht. Er überzieht bei übrigens gleichen Umſtänden jene Körper, die dem freien Himmel ausgeſetzt ſind, mehr als zugedeckte, in der Luft hängende mehr als auf dem Boden liegende, und Körper mit rauhen Oberflächen in größerer Menge als ſolche, deren Oberfläche glatt iſt. Ueber den letzteren Punct hat vorzüglich Harvey viele intereſſante Beobachtungen angeſtellt. Zu dieſen Erfahrungen fügte Wells noch die wichtige Entdeckung, daß jene Körper, die bethaut werden, immer eine geringere Temperatur haben, als die ſie umgebende Luft, und daß mit dieſem Unterſchiede der Temperatur die Menge der Bethauung zunehme. Dieſes läßt keinen Zweifel übrig, daß das Entſtehen des Thaues auf folgendem Hergange der Sache beruhe: Das Ausſtrahlen der Wärme bewirkt an den Körpern, welche dem freien, heiteren Himmel ausgeſetzt ſind, eine Verminderung der Temperatur, dieſe entziehen der angrenzenden Luftſchichte Wärme und machen, daß ihre Dünſte das Maximum der Expanſivkraft überſchreiten, in tropfbaren Zuſtand übergehen, und ſich ſo an die nahen Körper abſetzen. Man kann die Menge des in einer gegebenen Zeit als Thau abgeſetzten Waſſers beſtimmen, wenn man ein metallenes Gefäß mit blankem Boden dem freien Himmel ausſetzt, und es vor und nach dem Bethauen abwiegt. Flaugergues fand ſo, daß das im Jahre 1823 abgeſetzte Thauwaſſer zu Viviers den Boden auf drei Linien bedecken würde, wenn es ſich anſammeln könnte. (*Bibl. univ. avril. An assay on Dew and several appearances connected with it. by W. Wells. London* 1815.) Wenn die Temperatur der Luft während der Nacht unter den Gefrierpunct ſinkt, ſo friert der Thau und erſcheint als Reif an Körpern. Man ſieht leicht ein, daß ein Reif entſtehen kann, ſelbſt wenn die Temperatur der Luft ober dem Gefrierpuncte ſteht. Mehlthau, Honigthau ſind normalwidrige, von Pflanzen austretende Säfte und kein atmoſphäriſcher Niederſchlag.

Aus dem Vorhergehenden erklärt man ſich leicht: Warum der Thau und Reif im Frühling und Herbſt ſo reichlich fällt; warum es in der Nähe großer Wäſſer und überhaupt in waſſerreichen Gegenden ſo ſtark thaut; warum Niederungen ſo oft vom Reife heimgeſucht werden, während höhere Gegenden, wohin ſich die warmen und daher leichteren Luftſchichten erheben, nur bethaut werden; warum man Gewächſe durch eine geringe Decke, z. B. durch Reiſig, Rauch vor Reif ſchützen kann; warum der Thau bei Aufgang der Sonne wieder verſchwindet ꝛc.

195. Waſſer, das klein zertheilt in der Luft ſchwimmt und ſie trübt, bildet Nebel und Wolken. Beide unterſcheiden ſich von einander nur durch ihre Höhe. Eine Wolke iſt ein hochſchwebender

Nebel, der Nebel iſt eine auf der Erde aufliegende Wolke; man kann daher beide mit dem allgemeinen Namen einer Wolke belegen. Davon überzeugt man ſich, wenn man einen in Wolken gehüllten Berg beſteigt, denn da trifft man in der Wolkenregion Nebel an. Die Wolken ſchweben keineswegs ruhig in der Luft, ſondern nehmen an den Bewegungen derſelben Theil, ſchreiten nach verſchiedenen Weltgegenden fort, heben und ſenken ſich. Daß die eigentlichen Wolken bald höher bald tiefer ſchweben, erkennt man daraus, daß ſie die Gipfel der Berge bald umhüllen, bald ſie dem Auge frei geben. Man meint, nur die feinſten Wölkchen haben eine Höhe von einer Meile und darüber; über dem atlantiſchen Ocean und ſtillen Meere haben Meſſungen die Höhe der Wolken zwiſchen 900 und 1400 Meter angegeben. Die Regen- und Gewitterwolken ziehen meiſtens ſehr tief, weil ſie dichter und daher ſchwerer ſind, als die übrigen, heben ſich aber wieder, wenn ſie einen Theil ihres Waſſers durch Regen, Schnee ꝛc. verloren haben. Im Sommer ſchweben die Wolken höher als im Winter, und in der heißen Zone höher als bei uns. In der kalten reichen ſie faſt immer bis zum Boden herab und bilden jene Nebel, die den Schifffahrern ſo läſtig ſind. Das Treiben der Wolken geſchieht mit großer Geſchwindigkeit, und nach einer Richtung, welche oft der des Windes in den unteren Regionen ganz entgegengeſetzt iſt. Die Farbe der Wolken ſteht mit ihrer Dichte in Verbindung. Sehr dichte Wolken abſorbiren das Licht völlig und erſcheinen daher dunkel, dünnere laſſen es zum Theile durch und reflectiren es zum Theile, ſind daher mehr oder weniger weiß. Die der Sonne näheren und daher intenſiver beleuchteten Wolken gewähren nicht ſelten ein herrliches Farbenſpiel. Die Ausdehnung nach Länge und Breite iſt bei einzelnen Wolken ſehr verſchieden, jedoch erſcheinen uns unter allen die Gewitterwolken am ausgedehnteſten. Wenn auch manchmal der ganze Himmel bewölkt erſcheint, ſo iſt dieſes die Folge mehrerer ſehr nahe ſtehender Wolken, deren es gewöhnlich ſogar mehrere Schichten über einander gibt. Uebrigens hängt die ſcheinbare Ausdehnung einer Wolke, wie die eines jeden andern ſichtbaren Gegenſtandes, von ihrer Entfernung und von der Lage des Auges gegen ihren Ort ab. Die höchſten Wolken erſcheinen immer wie Faſern und Streifchen, ſind aber wahrſcheinlich nicht minder ausgedehnt, als die uns ſo nahen Regenwolken; die gegen uns ſchief ſtehenden Wolken erſcheinen lang und ſchmal, wiewohl ihre Ausdehnung nach allen Richtungen gleichmäßig ſeyn kann, weil ſie nach ihrer Breite geſehen verjüngt erſcheinen. Die Dicke der Wolken läßt ſich nur bei jenen beſtimmen, die um Berge Gürtel bilden. Peytier und Haſſard fanden ſo eine Wolke 450—850 Meter dick. Das Anhäufen der Wolken am Horizont zu einer Zeit, wo ſich um das Zenith herum nur wenige Wölkchen zeigen, beruht auf einer optiſchen Täuſchung. Manchmal vergrößert ſich eine Wolke ſehr ſchnell, nicht ſelten vermindert ſich eine eben ſo eilig. Daran mag vielleicht die Elektricität einen Antheil haben; indeß ſieht man auch wohl ein, daß ſich auch in dem Falle eine Wolke vergrößern müſſe, wenn ſie durch den

Wind in feuchte Luftſchichten von geringerer Temperatur getrieben wird. Die Vergrößerung der Wolken iſt nicht ſelten mit einem Steigen der Temperatur verbunden, weil Wolken der Erde die ausſtrahlende Wärme zurückſenden. Das Verſchwinden oder Abnehmen einer Wolke wird daraus begreiflich, daß ſie durch den Wind über Gegenden geführt wird, von denen warme oder trockene Luft hoch aufſteigt, oder daß dieſe ihr ſelbſt vom Winde zugeführt wird. Hieraus ſieht man auch ein, wie Winde die Wolken zerſtreuen können.

196. Ueber die Geſtalt der Wolken verdanken wir dem Engländer Howard die meiſte Aufklärung. Er fand, daß alle Wolken unter drei Hauptformen und vier abgeleiteten Formen erſcheinen. Die Hauptformen ſind: Die Federwolke (cirrus), die Haufenwolke (cumulus) und die Schichtwolke (stratus). Die abgeleiteten ſind: Die federige Haufenwolke (cirro-cumulus), die federige Schichtwolke (cirro-stratus), die geſchichtete Haufenwolke (cumulo-stratus) und die gehäufte federige Schichtwolke oder Regenwolke (nimbus).

197. Die Federwolke (Fig. 395) beſteht aus zarten, parallel laufenden oder verwirrten, manchmal baum- oder lockenartig verzweigten Faſern. Sie iſt nach anhaltend ſchönem Wetter die erſte, welche das Blau des Himmels bleicht, zeigt ſich bei trockener Witterung mehr faſerig, bei feuchter und bevorſtehendem Regen mehr verwaſchen, ſie hat meiſtens eine Höhe von mehr als einer halben Meile, und dürfte wohl nur aus Schneetheilen beſtehen. Die Federwolke geht häufig durch Verdichtung in die federige Schicht- oder Haufenwolke über. Die federige Haufenwolke (Fig. 396) beſteht aus kleinen, weißen, meiſt runden, in Reihen geordneten Wölkchen, die man Schäfchen zu nennen pflegt. Sie erſcheinen vorzüglich groß und gut begrenzt am Abende warmer Sommertage, und können nach anhaltend naſſer Witterung für Vorboten einer beſſeren Zeit angeſehen werden. Die federige Schichtwolke (Fig. 397) charakteriſirt ſich durch Mangel an Dichte, durch ihre große Ausbreitung im Verhältniß gegen die Menge ihrer Subſtanz und durch die Veränderlichkeit ihrer Geſtalt. Sie erſcheint in der Höhe als eine große Menge zarter Wölkchen, hat aber, wenn ſie am Horizont ſteht, wo man ihren verticalen Durchſchnitt ſieht, das Ausſehen weit ausgedehnter Schichten. Oft überzieht ſie den ganzen Himmel oder einen bedeutenden Theil deſſelben wie mit einem weißen Schleier. Dieſe Wolkenart iſt es auch, welche, wenn ſie am weſtlichen Himmel bei Sonnenuntergang ſteht, und dünn genug iſt, das herrliche Farbenſpiel der Abendröthe gibt, wenn ſie aber dichter iſt, einen trüben Sonnenuntergang verurſacht, und einem anhaltenden, aber ſanften Landregen vorhergeht. Die Schichtwolke (Fig. 398) iſt eigentlich das, was man Nebel nennt, nämlich eine wie Waſſer ausgedehnte, die Erde berührende Wolke. Sie entſteht häufig an Tagen, deren Temperatur gegen die der Nacht ſtark abſticht. Nach Sonnenuntergang lagert ſie ſich beſonders häufig über tiefe Gewäſſer, verſchwindet manchmal gänzlich, indem ſie wie

ein feiner Thau herabfällt, ſteigt nicht ſelten in die Höhe und geht in eine Haufenwolke über. Ueber den Polarmeeren verweilen den ganzen Sommer hindurch dichte Nebel, die in eine Höhe von 150—200 Fuß reichen. Im Jahre 1783 überzog ein ſolcher Nebel, den man Höhenrauch nennt, faſt das ganze Jahr hindurch die meiſten Gegenden Europa's, und ſtand wahrſcheinlich mit den in dieſem Jahre ſo häufigen unterirdiſchen Revolutionen in Verbindung. Die Entſtehung der Schichtwolke läßt ſich genügend auf folgende Weiſe erklären: Sobald in einer Gegend die Sonne untergegangen iſt, wird der Erde für die ausſtrahlende Wärme, beſonders wenn die Luft ruhig und der Himmel heiter iſt, kein Erſatz zu Theil, es nimmt daher ihre Temperatur ab. Am feſten Lande beſchränkt ſich dieſe Abkühlung immer auf die Oberfläche oder erſtreckt ſich doch nur in ſehr geringe Tiefe, im Waſſer hingegen, deſſen Temperatur über 3° R. iſt, ſinken die abgekühlten Theile der Oberfläche zu Boden, wärmere treten an ihre Stelle und werden auf gleiche Weiſe wieder abgekühlt, nur unter 3° R. iſt die oberſte zugleich die kälteſte Schichte; es erſtreckt ſich daher die Abkühlung auf die ganze Waſſermaſſe. Iſt nun dieſe hinreichend groß, und hat ſie während des Tages eine Temperatur, welche der Temperatur der Luft gleich oder nur wenig geringer, jedoch über 3° R. iſt; ſo muß in einer heiteren und ruhigen Nacht ihre Temperatur an der Oberfläche höher ſeyn, als die des angrenzenden feſten Landes, und eben daher muß auch die Luft über dem Waſſer wärmer ſeyn als über dem Lande, und mehr Dünſte enthalten; zugleich muß aber auch die Landluft beſtändig gegen das Waſſer hinſtrömen, die daſelbſt befindliche Luft abkühlen, und ſo den Nebel erzeugen. Die Menge deſſelben muß ſich nach der Tiefe und nach der Temperatur des Waſſers richten. Dieſe Erklärung hat man durch Beobachtungen an vielen Flüſſen Deutſchlands und Italiens beſtätigt gefunden. Auch der Umſtand iſt dieſer Erklärung günſtig, daß nach Harvey's Erfahrungen (*Journ. of sc. Nr.* 29) die Temperatur einer Nebelſchichte in der Mitte geringer iſt, als oben und unten. Da das feſte Land in der Regel häufig mit größeren oder kleineren Waſſerbehältern oder feuchten Stellen wechſelt, ſo iſt wohl begreiflich, wie ſich oft ein Nebel weit über eine Gegend verbreiten kann. Er kann aber auch ſein Entſtehen der unmittelbaren Erkältung der Luft verdanken. Die Haufenwolke (Fig. 399) zeichnet ſich durch ihre halbkugelförmige Geſtalt mit genau horizontaler Grundfläche aus. Sie entſteht, wie die Federwolke, bei ganz heiterem Himmel als ein kleines unregelmäßiges Wölkchen, das allmälig zu einer bedeutenden Größe anwächſt, die kleineren, herum befindlichen gleichſam aufnimmt und ſich ſo zu einem Wolkenberge vergrößert. Sehr merkwürdig iſt es, daß dieſe Wolken häufig an heiteren Tagen Morgens entſtehen, bis zur größten Tageshitze wachſen, am Abende wieder verſchwinden und ein reines Firmament zurücklaſſen. Die Urſache dieſer Erſcheinung liegt wahrſcheinlich in der mit der Wärme zunehmenden Menge der Dünſte, die mit der erwärmten Luft aufſteigen, in kältere Regionen kommen, und dort zu Wolken

werden. Dieſe ſenken ſich wieder, ſobald das Aufſteigen der wärmeren Luftſtröme ein Ende erreicht hat, kommen dabei in wärmere Regionen, und gehen wieder in Dunſt über. Mit dieſer Anſicht ſteht die Erfahrung in gutem Einklange, daß die mittlere Wärmeabnahme der Luft nach oben ſchneller erfolgt als die Abnahme des Thaupunctes, indem die Lufttemperatur ſchon in einer Höhe von 400 — 500 F., der Thaupunct aber erſt in einer Höhe von 700 F. um 1° C. abnimmt. Nicht ſelten verliert die Haufenwolke ihre halbkugelförmige Geſtalt, nimmt nach oben unregelmäßig zu, wird dichter, hängt in Flocken über ihre Grundfläche herunter, und bildet ſo die geſchichtete Haufenwolke (Fig. 400). Wenn ſich bei dem periodiſchen Entſtehen und Verſchwinden der Haufenwolke eine große Neigung derſelben zeigt, in die geſchichtete Haufenwolke überzugehen, hat man immer Regen zu befürchten.

198. Der Uebergang der jetzt beſchriebenen Wolkenarten in die regnende Wolke iſt mit merkwürdigen Erſcheinungen begleitet: Die in niederen Luftſchichten hinſchwebende Haufenwolke hält in ihrem Fortgange inne, vergrößert ſich durch Aufnahme der über ihr befindlichen Federwolken, und verwandelt ſich ſo in eine geſchichtete Haufenwolke, die oben in lockige Faſern ſich endiget, immer dunkler wird, und endlich Regen herabſchüttet.

199. Der Regen iſt eine Folge der Vergrößerung der einzelnen Waſſertropfen, welche die Wolken bilden, und kann durch mannigfaltige Umſtände herbeigeführt werden, wie z. B. dadurch, daß die Temperatur der Wolke fortwährend vermindert und ſo immer fort Dunſt zerſetzt wird, denn dadurch kommen ſich die einzelnen Waſſertröpfchen näher und fließen in größere zuſammen; ferner durch einen Wind, der eine Wolke an ein mechaniſches Hinderniß antreibt. Dadurch entſtehen jene furchtbaren Regengüſſe, die den Gebirgsländern ſo gefährlich ſind und Wolkenbrüche heißen. Dieſer Wirkung der Winde iſt keineswegs die allgemein bekannte Erfahrung entgegen, daß ein ſtarker Wind in den unteren Regionen den Regen hindere; denn es iſt hier immer vom oberen Winde die Rede, an dem es ſelten fehlt; der untere hingegen zerſtreut die kleinen, herabfallenden Tropfen, und bewirkt, daß ſie wieder verdünſten, bevor ſie die Erde treffen. Daher kommt auch das Fallen einzelner Tropfen bei windigem Wetter. Uebrigens können wenige Waſſertröpfchen, die ſich nicht mehr in der Luft erhalten können, einen gewaltigen Regen herbeiführen, weil ſie beim Sinken auf andere treffen und ſich mit ihnen zu einer größeren Maſſe vereinigen.

200. Die Regentropfen ſind in den oberen Regionen ſehr klein, vergrößern ſich aber allmälig im Herabfallen durch Waſſer, welches ſie durch ihre Erkältung aus der Luft ausſcheiden. Darum ſind auch die Regentropfen bei uns viel geringer im Durchmeſſer als in der heißen Zone, wo die Wolken wegen der größeren Luftwärme viel höher ſtehen. Oft ſollen ſie unter dem Aequator einen Zoll im Durchmeſſer haben, während ſie bei uns ſelten mehr als einige Linien dick ſind. Wegen des Widerſtandes der Luft erlangen ſie keine große Geſchwindigkeit.

201. Die **Regenmenge** iſt nach Zeit und Ort verſchieden. In der Regel beträgt die in einem Jahre gefallene Regenmenge deſto mehr, je höher die mittlere Jahrestemperatur, mithin je größer das Maß der Ausdünſtung iſt; ſie iſt daher am Aequator größer als bei uns, und nimmt mit wachſender geographiſcher Breite ab. Höher gelegene Orte ſollen reichlichere Regen haben, als tiefere (Kaſt Arch. 6. 225), aber in derſelben Verticalen iſt die Regenmenge oben geringer als unten, wahrſcheinlich, weil ſich die kalten Regentropfen beim Fallen durch neuen Waſſerniederſchlag vergrößern. Uebrigens haben auf die jährliche Regenmenge auch der Zug der Gebirge, die Winde, welche Luftſchichten von verſchiedener Temperatur mit einander mengen, und andere Localitäten großen Einfluß. Offenbar muß es an jenem Abhange der Gebirge, den die Regenwolken zuerſt erreichen, auch mehr regnen als an dem, worüber die Regenwolken erſt ſchweben, wenn ſie ſchon einen Theil ihres Waſſergehaltes abgegeben haben. Da Regenwolken meiſtens aus Süd oder Weſt kommen, ſo iſt es begreiflich, daß im ſüdlichen Deutſchland und in Ungarn (dießſeits der Alpen) verhältnißmäßig weniger Regen fällt, als in der Lombardie und überhaupt jenſeits der Alpen. Selbſt die **Vertheilung** des jährlichen Regens auf die einzelnen Monate und Jahreszeiten iſt an verſchiedenen Orten verſchieden. In der heißen Zone iſt der ganze in einem Jahre fallende Regen auf die Regenzeit concentrirt, und tritt beim höchſten Sonnenſtande ein, wo die ſtarken aufſteigenden Luftſtröme den größten Zufluß von kälteren Gegenden nothwendig machen. In größeren Breitengraden der tropiſchen Zone, nämlich an den äußerſten Grenzen der Paſſatwinde, erzeugen die herabſinkenden Aequatorialſtröme die Winterregen. Je mehr man ſich von der tropiſchen Zone entfernt, deſto mehr vertheilt ſich der Regen in das ganze Jahr, aber ſelbſt da treten deutlich zwei Regenzeiten hervor, und rücken immer mehr aus einander, je mehr man die Grenzen der Tropen verläßt, bis dieſelben in einer großen Breite wieder in ein Regenmaximum, das in den Sommer fällt, zuſammenfallen. Man mißt die Regenmenge mittelſt eines regelmäßigen, zum Auffangen und Meſſen des Regenwaſſers beſtimmten Gefäßes, **Regenmeſſer**, **Ombrometer**, worunter das von **Horner** angegebene beſonders ſinnreich iſt. (Schweigg. J. 52. 26.)

Nach **Anderſon** geben die Zahlen 73, 69, 59, 47, 35, 25, 19, 14, 12, 11, 5 die Regenmenge unter dem Aequator (Breite 0°) und in den Breiten von 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, 90° an; ſie drücken nämlich aus, wie viel Zoll hoch das in einem Jahre fallende Regenwaſſer die Erde decken würde, wenn es ſich anſammelte. An der Küſte von Malabar (11½° n. Br.) fallen jährlich 116 Z., in Havana 85″.4, in Bombay 73″.5, in Macao 63″. Im ſüdlichen Theile der großen Ebene Norditaliens, am Fuße der Apenninen, beträgt die jährliche Regenmenge nirgends über 32 P. Z.; am ſüdlichen Abhange der Apenninen hingegen beläuft ſie ſich auf 42 — 43 Z. Am ſüdlichen Abhange der Alpen, in der Ebene der Lombardie und des venetianiſchen Königreichs fallen jährlich 54 — 55 Z., hie und da gar 80 — 90 Z. Waſſer, in der Mitte der Ebene aber nur 36 — 37 Z. Der Sommerregen beträgt zu Bologna ½, zu Piſa ¼, zu Rom ⅛ vom Herbſtregen, und zu Bo-

logna und Piſa $^1/_2$, zu Rom nahe $^1/_3$, zu Palermo $^1/_8$, zu Liſſabon $^1/_{13}$ — $^1/_{14}$ des Winterregens. Im gemäßigten Klima fallen bei einem mittleren Feuchtigkeitsgrade von 40° jährlich im Durchſchnitte 20 — 30″ Regen. In Cayenne fielen im Februar 151″, in der Miſſion St. Antonio de Javita am Orinoco, wo es oft 5 Monate ununterbrochen regnet, in 5 St. 21‴, und ein anderes Mal gar in 3 St. 14‴, im Bombay während den 12 erſten Tagen der Regenzeit 32″. Genf hat zwei mal ſo viel Regen als Paris, Petersburg ſo viel wie Wien. In York fand man, daß ſich die Regenmengen an drei Stationen, deren eine 29 F., die andere 72,8″, die dritte 231′ 10$^1/_2$″ über dem Spiegel der See lag, im Jahre 1832 — 1833 wie die Zahlen 661 : 853 : 1000, im Jahre 1833 — 1834 wie die Zahlen 582 : 772 : 1000 verhalten. In einzelnen Jahren wechſelt die Regenmenge ſehr ſtark. Die mittlere jährliche Regenmenge in Wien beträgt 16 P. Z. Im Jahre 1833 fielen aber nur 13,5 Z., im J. 1834 nur 10 Z., im J. 1835 aber 17,3 Z., im J. 1836 16 Z., im J. 1837 15,9 Z., im J. 1838 endlich 18,7 Z. Regen. Im ſüdlichen Europa fällt das Maximum des Regens auf den Frühling und Herbſt, in Deutſchland auf den Sommer. Nach Kämtz iſt an der Weſtküſte Europa's die Regenmenge im Winter (December bis Februar) eben ſo groß, wie in den Sommermonaten; aber je weiter man ins Innere des Continents kommt, deſto vorherrſchender werden die Sommerregen (Dove in Pogg. Ann. 35. 375.)

202. Das Regenwaſſer iſt beſonders in den Monaten März und April rein, weil da wegen der geringeren Luftwärme noch keine fremdartigen Subſtanzen mit den Dünſten in die Luft geführt werden, enthält aber ſelbſt in dieſen Monaten kohlenſaures Ammoniak, und verdankt dieſem ſeine von deſtillirtem Waſſer ſo verſchiedene Beſchaffenheit, die ſogenannte Weichheit; in warmen Sommertagen hat es viele andere fremdartigen Subſtanzen beigemiſcht. Subſtanzen, wie z. B. Samenſtaub, die durch Winde in die Luft geführt werden, fallen mit dem Regen wieder herab und erzeugen bei unwiſſenden Leuten die Meinung von Schwefel-, Blutregen u. ſ. w. Dieſelbe Bewandtniß hat es mit dem Regen der Thiere, z. B. der Fröſche, die bei trockener Zeit im Straßenſtaube begraben liegen und nach einem Regen wieder erwachen, wohl auch vom Winde fortgeführt worden ſeyn können.

Zimmermann, der dem Meteorwaſſer eine große Aufmerkſamkeit widmete, fand das ſpecifiſche Gewicht deſſelben bei 14° R. gleich 1,00010 — 1,00130, und will deutliche Spuren von Kalk, Talk, Kali, Eiſen, Mangan, Salzſäure, Kohlenſäure und organiſchem Stoffe darin entdeckt haben. Nach Brandes enthielt das an einem Orte im Jahre 1825 aufgefangene Regenwaſſer 2,57 Gran feſten Stoff (Schweigg. J. 43. 153). Nach Liebig erhält man, wenn man friſch aufgefangenes Regenwaſſer in einer Porcellanſchale mit Zuſatz von etwas Schwefelſäure oder Salzſäure bis nahe zur Trockenheit abdampft, immer Salmiak oder ſchwefelſaures Ammoniak. (Deſſen org. Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Phyſiologie. Braunſchweig 1840. S. 71.)

203. Wiewohl die Regenwolken in der Regel niedriger ſchweben als andere, ſo befinden ſie ſich doch meiſtens in der Region des ewigen Schnees. Gehen daher die Dünſte in tropfbaren Zuſtand über, ſo

werden ſie auch bald zu Eis, thauen aber beim Herabfallen wieder auf, wenn die untere Luft eine hohe Temperatur hat, widrigenfalls fallen ſie aber in Geſtalt von Flocken herab, und geben den *Schnee*. Das Regenwaſſer iſt daher meiſtens Schneewaſſer. Thauet der Schnee während des Falles nicht ganz auf, ſondern ſintert nur zuſammen, wie dieſes im Frühling und Herbſt oft geſchieht, ſo entſteht dadurch der *Graupenregen*. Man erklärt es ſich hieraus, warum es in niederen Gegenden regnet, wenn es auf hohen Bergen ſchneiet, warum ſich im Winter der Schnee bis an die Meeresfläche herab erſtreckt, warum es in heißen Gegenden gar nicht ſchneiet.

201. Wenn der Schnee nicht ſehr dicht fällt, erkennt man ſchon mit freiem Auge, daß er aus kleinen Sternchen beſteht, die meiſtens ſechseckig ſind; fällt er aber dicht, ſo hängen ſich mehrere ſolche Geſtalten an einander, und bilden dann die großen Flocken, an denen man ein Gewebe aus feinen Nadeln erkennt. Fig. 401 zeigt mehrere Schneeflocken im vergrößerten Zuſtande. Der Vermiſchung der Schneeflocken mit Luft verdankt der Schnee ſeine ſtarke Licht reflectirende Kraft und die blendend weiße Farbe; beigemiſchte, meiſtens vegetabiliſche Subſtanzen färben ihn aber nicht ſelten merklich roth; man fand ihn öfters auch ſchon leuchtend.

Folgende Tabelle gibt die Höhe an, zu welcher das Luftwaſſer jährlich ſteigen würde, wenn es nicht wieder verdünſtete oder eingeſaugt und zerſetzt würde.

Zu Abo	27,54	P. Zoll.	Zu Mannheim	20,6	P. Zoll.
» Algier	25,32	—	» Maranhao	26,0	—
» Augsburg	35,9	—	» Middelburg	31,8	—
» Bergen	73,0	—	» Padua	37,5	—
» Berlin	19,3	—	» Paris	20,0	—
» Bombay	72—106	—	» Piſa	34,5	—
» Delft	26,1	—	» Plymouth	29,1	—
» Domingo	11,3	—	» Rom	29,3	—
» Dordrecht	38,6	—	» Straßburg	25,9	—
» Edinburgh	21,6	—	» St. Petersburg	16,0	—
» Freiburg	28,4	—	» Stuttgart	23,9	—
» Göttingen	34,7	—	» Tübingen	25,0	—
» Haag	26,6	—	» Ulm	25,5	—
» Harderwyk	26,1	—	» Upmünſter	27,7	—
» Harlem	23,2	—	» Upſala	22,0	—
» Hohenheim	24,6	—	» Utrecht	23,18	—
» Karlsruhe	25,5	—	» Venedig	33,92	—
» Kendal	60,5	—	Wälder des Orinoco und Rio Negro	90—100	—
» Lancaſter	38,5	—			
» Leiden	28,34	—			
» Lund	17,39	—	Zu Wien	16,0	—
» Lyon	37,0	—	» Wittenberg	16,0	—
» Madeira	29,1	—	» Zürch	32,0	—

Siehe *Hube* über die Ausdünſtung und ihre Wirkungen in der Atmoſphäre. Leipzig 1790. Unterſuchungen über die Wolken und andere Erſcheinungen in der Atmoſphäre von T. *Forſter*. Leipzig 1819. Beiträge zur Witterungskunde von *Brandes*. Leipzig 1820.

Sechſtes Kapitel.

Elektrometeore.

205. Sobald man die erſtaunlichen Wirkungen der künſtlich erregten Elektricität erkannt hatte, mußte ihre Aehnlichkeit mit denen, welche der Blitz hervorbringt, auf die Vermuthung leiten, daß auch in der Atmoſphäre freie Elektricität walte, und daß die Erſcheinungen eines Gewitters von elektriſchen Entladungen herrühren. Man fand bald Mittel, dieſe Vermuthung durch Beobachtungen zur Gewißheit zu erheben. Indem man nämlich einen papierenen, mit einem metallenen Stifte verſehenen Drachen aufſteigen ließ, und ihn an einer ſeidenen Schnur hielt, die mit feinem Metalldraht umwunden war, bemerkte man am Ende der Schnur Zeichen von elektriſcher Anziehung und Abſtoßung, wohl gar ſtechende Funken, wie aus einer Leidnerflaſche. Heut zu Tage herrſcht über das Daſeyn der Elektricität in der Atmoſphäre gar kein Zweifel mehr. Man kann ſich von ihrem Daſeyn theils mittelſt iſolirter, an hohen Stangen angebrachter Drähte, theils mittelſt eines Drachen, vorzüglich leicht aber mittelſt einer etwa 1—2 Klafter langen Stange überzeugen, deren iſolirtes, mit einem glühenden Schwamme verſehenes Ende mit einem empfindlichen Elektroſkope oder mit einem Multiplicator, deſſen ein Drahtende bis zur Erde reicht, in Verbindung ſteht.

206. Man findet bei jeder Witterung Spuren von atmoſphäriſcher Elektricität. Die allgemeinen Reſultate, welche ſich aus den Unterſuchungen über die Luftelektricität ergeben haben, ſind folgende: Bei heiterer Luft iſt die Elektricität ſtets poſitiv und im Allgemeinen im Winter ſtärker als im Sommer, bei ruhigem Wetter ſtärker als während eines Windes. Ihre Intenſität wächſt von unten nach oben, und ändert ſich mit der Jahres- und Tageszeit. Sie erreicht täglich zweimal ihr Maximum und eben ſo oft ihr Minimum. Nach Schübler fängt ſie mit Sonnenaufgang an zu wachſen, und erreicht einige Stunden darnach ihr erſtes Maximum, von da an nimmt ſie wieder ab, und erlangt 1—2 Stunden vor Sonnenuntergang ein Minimum; ſteigt aber wieder von da an ſchnell, und erreicht einige Stunden nach Sonnenuntergang ihr zweites Maximum. Von dieſem Augenblicke an fällt ſie die ganze Nacht hindurch, bis ſie mit aufgehender Sonne abermals zu ſteigen beginnt. Im Sommer tritt das erſte Maximum am früheſten, im Winter am ſpäteſten ein, während das zweite Maximum in Sommertagen am ſpäteſten, in Wintertagen am früheſten Statt hat. Nach Clarke (*Phil. Mag. March.* 1840. *p.* 226) iſt das Steigen und Fallen der Luftelektricität das Reſultat der Verdunſtung und nimmt mit der abſoluten Dunſtmenge ab und zu. Bei ruhiger, heiterer Luft ſind die Variationen der Elektricität größer als bei trüber, und überhaupt im Mittel im Sommer faſt doppelt ſo groß als im Winter. Dichte Wolken, Nebel und naßkalte Witterung ſtören überhaupt den regelmäßigen Gang der Elektricität völlig. Das aus der

Luft fallende Waſſer iſt faſt immer, beſonders im Sommer, elektriſch, ſelbſt die in der Nähe von Waſſerfällen in der Luft ſchwebenden Waſſertropfen ſind ſtark poſitiv elektriſch. Bei Nordwinden iſt die Luftelektricität am häufigſten poſitiv, bei Südwinden am häufigſten negativ elektriſch; die öſtlichen Winde haben mehr die Eigenſchaft der nördlichen, die weſtlichen mehr die der ſüdlichen Winde; doch ſind überhaupt negative Niederſchläge häufiger als poſitive. Starke Platzregen und Gewitterregen liefern mehr Elektricität als ſanfte Landregen. Wolken ſind faſt immer negativ elektriſch. Daher mag es kommen, daß die Luftelektricität oft ſo ſehr wechſelt. Volta beobachtete in einer Minute einen 14maligen Wechſel der Elektricität. Hagel und Schnee ſind faſt immer elektriſch, der Nebel verliert oft vor ſeinem Falle die Elektricität. Die Quelle der Luftelektricität mag wohl mannigfaltig ſeyn, allein ſeit Pouillet gezeigt hat, daß beim Ausſcheiden der im Waſſer aufgelöſten Salze, während der Verdünſtung des Waſſers und bei der Vegetation, Elektricität frei werde, und Clarke den Zuſammenhang der Schwankungen der Dunſtmenge mit jener der Luftelektricität nachgewieſen hat, muß man wohl in der Verdunſtung die Hauptquelle der atmoſphäriſchen Elektricität ſuchen. Nach Pouillet liefert eine Flur von 25 Q. Klafter in einem Tage mehr poſitive Elektricität, als man zum Laden der ſtärkſten Batterie bracht.

207. Als eine Folge der Anhäufung der Elektricität in der Luft iſt das Leuchten der Spitzen an Thürmen, Maſten der Schiffe u. ſ. w., welches man Eliasfeuer, St. Helena nennt, anzuſehen, und eines der erhabenſten Meteore, nämlich das Gewitter, deſſen weſentliche Erſcheinungen Donner und Blitz ſind. Gewitter erfolgen in der Regel nur an windſtillen Tagen und in der warmen Jahreszeit, und zwar aus folgenden Urſachen: 1) iſt im Sommer die Verdünſtung und die Menge aufſteigender Dünſte, welche Elektricität mit ſich führen, am größten, und der Vegetationsprozeß geht am lebhafteſten vor ſich. 2) Schweben die Wolken im Sommer höher, und theilen deßhalb der Erde ihre Elektricität nicht ſo leicht mit. 3) Sind die Nächte, wo die Luft am meiſten feucht iſt und der Erde Luftelektricität zuleitet, in dieſer Zeit am kürzeſten; und 4) bewirken die Sonnenſtrahlen in den Wolken leichter eine Verdünſtung und daher eine neue Anhäufung der Elektricität. Der Juli iſt der gewitterreichſte Monat. Wintergewitter ſind nichts Unerhörtes, aber doch eine Seltenheit. In der Regel wird ein Ort deſto öfter von Gewittern heimgeſucht, je höher ſeine mittlere Temperatur iſt. An einigen Orten der heißen Zone findet in der heißen Jahreszeit regelmäßig alle Tage ein Gewitter Statt. Mit wachſender geogr. Breite nimmt die Häufigkeit der Gewitter ab, und doch hat man ſelbſt in einer nördl. Breite von 75° noch Gewitter beobachtet. (Baer in Pogg. Ann. 48. 601.) Von einer Weltgegend kommen mehr Gewitter als von den übrigen. In Wien iſt meiſtens die Südweſtſeite die Wetterſeite.

Nach Gronau ergibt ſich aus 20jährigen Beobachtungen zu Berlin die jedem Monate entſprechende mittlere Anzahl der Gewitter, wie folgt:

Jänner 14, Februar 18, März 26, April 132, Mai 293, Juni 453, Juli 496, Auguſt 423, September 160, October 22, November 12, December 13. Nach Kämtz ſind die Gewitter in höheren Breiten nach Procenten ihrer Anzahl ſo auf die einzelnen Jahreszeiten, Winter (W.), Frühling (F.), Sommer (S.), Herbſt (H.) vertheilt: Weſtliches Europa W. 8,9, F. 17,7, S. 52,2, H. 20,9; Schweiz W. 6,4, F. 20,6, S. 69,0, H. 10,0; Deutſchland W. 1,4, F. 24,4, S. 66,0, H. 8,2; inneres Europa W. 0, F. 15,7, S. 79,3, H. 5,0. Nach Arago ereignen ſich durchſchnittlich im Jahre zu Calcutta 60, zu Rio Janeiro 50,7, zu Kairo 3,5, Buenos Ayres 22,6, Abiſſynien 38 Gewitter.

208. Vor einem Gewitter häufen ſich die Wolken an einer Region beſonders ſtark an und nehmen an Dichte ſo zu, daß ſie ſtellenweiſe ein völlig ſchwarzes Ausſehen bekommen, ſie gewinnen eine meiſtens abgerundete Geſtalt, zeigen ſtarke Abſtufungen der Beleuchtung, und ſchweben meiſtens nicht ſehr hoch (am Abhange der Pyrenäen fand man die untere Fläche einiger Gewitterwolken 3000—3300 Meter hoch, in Paris waren die niedrigſten 1000—2400 Meter, in Tobolsk 214—800 Meter hoch). An ihrer inneren Fläche hängen flockige graue Nebel, die Luft wird ſchwül, ſehr elektriſch, und die Luftelektricität geht ſchnell vom Poſitiven ins Negative über und umgekehrt; es erfolgt eine feierliche Stille, welche jeden Laut, der ſie unterbricht, verſtärkt, hierauf folgen heftige Stürme, die von der Gewitterwolke aus nach allen Richtungen blaſen, in wirbelnder Bewegung Staub aufjagen und dem Zuge der Wetterwolke folgen. Bald erleuchten Blitze, vom Donner verfolgt, den Himmel, bei jedem Schlage ſieht man bedeutende Bewegungen in den Wolken, und faſt immer folgen ihnen Regengüſſe, nicht ſelten auch Hagel. Nach dem Regen nimmt die Heftigkeit des Gewitters ab, weil die Elektricität abgeleitet wird; die Gewitterwolke wird fortgetrieben, und zwar manchmal mit einer Geſchwindigkeit, die oft 8—24 Meilen in einer Stunde beträgt, aber nicht nach der Richtung, nach welcher der untere Wind weht, ſondern oft ſogar nach einer ganz entgegengeſetzten Richtung; oft zertheilt ſich die Wolke und die Luft erhält eine erfriſchende Kühle, wenn nicht wieder ein neues Gewitter im Anzuge iſt. Oft endet das Gewitter mit einer gleichförmigen Vertheilung der Wolken über den ganzen Himmel.

209. Der Blitz iſt ein elektriſcher Funke, der wie jener aus dem Conductor großer Elektriſirmaſchinen, zwiſchen zwei Wolken oder einer Wolke und der Erde Statt findet. Im letzteren Falle ſagen wir, er ſchlage ein. Der Weg, den der Blitz nimmt, ſeine Farbe, ſeine Wirkungen auf irdiſche Gegenſtände, z. B. die gewaltige Erſchütterung, das Durchbohren und Zertrümmern ſchlechter Leiter, das Schmelzen und Oxydiren der Metalle, das Verglaſen der Erden, das beſonders in ſandigen Gegenden Statt findet und die ſogenannten Blitzröhren (Gilb. Ann. 55. 121. Ribbentrop über Blitzröhren. Braunſchweig 1830) erzeugt; das Entzünden brennbarer Subſtanzen, das Tödten der Thiere, ſind genau ſo, wie ſie ſich von einem ſo verſtärkten, elektriſchen Funken erwarten laſſen, und wie man ſie mittelſt einer Elektriſirmaſchine in ſehr verjüngtem Maßſtabe hervor-

bringt. Die Blitze zerfallen nach Arago in drei Claſſen: in zickzackförmige mit ſcharf begrenzten Rändern; in ſolche, die größere Wolkentheile erleuchten, als wenn ſich der Himmel öffnete; und endlich Blitze in Form von Feuerkugeln. Flackernde Blitze ſcheinen aus einzelnen von einander getrennten Entladungen zu beſtehen. (Dove in Pogg. Ann. 35. 279.)

210. Der Donner iſt der heftige Knall, welchen der elektriſche Funke erzeugt, wenn er die Luft durchbricht. Sein Rollen entſteht theils aus der Reflexion des Schalles durch Wolken, Berge u. ſ. w, theils aus der ungleichen Entfernung der Theile des Weges, den der Blitz nimmt, von uns. In der Regel iſt der Donner, welcher den einſchlagenden Blitz begleitet, mehr praſſelnd, der, welcher von einer Wolke zur anderen fährt, mehr rollend; im letzteren Falle kann man auch, nach Bellani's Bemerkung, den aus der Wolke hervorbrechenden Blitz wohl vom matten Lichte unterſcheiden, das ſich gleich darauf durch die ganze Wolke erſtreckt. Blitze, die ſehr weit entfernt und nur von ſchwachen Donnerſchlägen begleitet ſind, erſcheinen ohne Donner. Oft ſind ſolche auch bloß reflectirte Blitze eines unter dem Horizonte befindlichen ſtarken Gewitters. Doch ſcheint es auch wirkliche Donner ohne Blitz zu geben, ſie ſind durch glaubwürdige Beobachter conſtatirt. (Reichenbach in Zeitſchr. 10. 74, Ayrer in Pogg. Ann. 48. 375.)

211. Der Umſtand, daß der Blitz ſich nach denſelben Geſetzen richtet, welche dem gemeinen elektriſchen Funken den Weg vorſchreiben, brachte Franklin auf die Erfindung der Blitzableiter. Dieſe ſind eiſerne, ſtarke (5/4 W. Z. im Durchſchnitte), an einem Ende zugeſpitzte und zur Verhütung des Roſtens vergoldete oder mit einer Platinſpitze verſehene Stangen, die auf einem Gebäude ſo errichtet werden, daß ſie 3 — 4 Fuß über die höchſten Theile deſſelben hervorragen. Da ſich die Wirkſamkeit einer ſolchen Stange, nach Charles, auf einen Umkreis erſtreckt, deſſen Halbmeſſer der doppelten Höhe der Stange gleicht, ſo müſſen größere Gebäude mit mehreren ſolchen Stangen verſehen werden. Alle werden mit einander leitend verbunden und mittelſt eiſernen Stangen oder Kupferſtreifen, oder nach Yelin, mittelſt Meſſingdrähten in die Erde hinabgeleitet. Jede größere Metallmaſſe eines Gebäudes ſoll in leitender Verbindung mit dem Ableitungsapparate ſtehen, weil der herabfahrende Blitz in einer ſolchen einen ſecundären elektriſchen Strom (II. 390) erzeugt, der ohne Ableitung ſo ſchädlich werden kann, wie der Blitz ſelbſt. Bei einer guten Einrichtung dieſer Stangen wird ein Gebäude vor Blitzſchlägen hinreichend geſichert ſeyn, jedoch kann ein Blitz vom Ableiter abſpringen, wenn er ſo ſtark iſt, daß ihn der Conductor nicht faſſen kann, oder wenn er das Metall ſchmilzt, oder endlich, wenn er in die Nähe einer Metallmaſſe kommt, die durch Induction elektriſirt iſt und nicht mit der Ableitungsſtange in Verbindung ſteht. Daſſelbe kann auch erfolgen, wenn häufiger Regen das Gewitter begleitet, welcher als natürlicher und höherer Ableiter wirkt. Selbſt im letzteren Falle wird nicht viel zu be-

fürchten ſeyn, weil ein ſolcher Blitz in der Regel nicht zündet, indem ihn die Näſſe des Daches ſelbſt ableitet. Strohſeile kann nur der als Ableiter empfehlen, dem die Geſetze der Elektricität fremd ſind. Ueberhaupt darf man, um die Wirkung eines Blitzableiters von der rechten Seite zu betrachten, nicht vergeſſen, daß ein Ableiter nur in ſo ferne wirkt, als er durch Induction elektriſch geworden iſt und die mit der Luftelektricität gleichnamige Elektricität in die Erde abgegeben hat. Darum iſt eine genaue Verbindung des ganzen Apparates mit der Erde ſo weſentlich. Ja, wenn dieſe nicht Statt findet und ein Gebäude durch eine darüber hin ziehende Gewitterwolke durch Induction elektriſirt iſt, ſo werden ſich beide Elektricitäten deſſelben nach Abzug dieſer Wolke mächtig zu vereinigen ſuchen, einen ſecundären Strom erzeugen, und auf die Körper, die dieſer Vereinigung im Wege ſtehen, wie ein Blitzſchlag wirken. Man nennt dieſes Phänomen den Rückſchlag. (Siehe: Raimarus Vorſchriften zur Anlegung einer Blitzableitung an allerlei Gebäuden. Hamburg 1778. Ueber die Blitzableiter, ihre Vereinfachung und die Verminderung ihrer Koſten von Dr. Plieninger. Stuttgart 1835. Anweiſung zur Errichtung der Blitzableiter in Frankreich. Pogg. Ann. 1. 403. Ueber Gewitter. Arago in ſeinem *Annuaire pour l'an* 1838, *p.* 221.)

Die Kenntniß der Geſetze der künſtlich erzeugten Elektricität gibt ſchon die Regeln an die Hand, durch die man ſich am beſten vor Blitzſchlägen bewahret. Sie laufen im Allgemeinen darauf hinaus, daß man die Nähe guter Leiter möglichſt meide. Deßhalb ſoll man ſich im Freien unter keinen Baum flüchten, nicht der höchſte Gegenſtand der Umgebung zu ſeyn ſuchen, keine gar ſtarke Bewegung machen, damit die Ausdünſtung nicht zu ſehr erhöht werde, nicht zu nahe an Häuſern gehen, ſondern lieber die Mitte einer Straße ſuchen, ſich im Zimmer von Fenſtergittern, Glockenzügen, ja ſogar von den Mauern entfernen und lieber die Mitte eines Gemaches einnehmen, die Nähe rauchender Kamine meiden und möglichſt dunſtfreie Orte ſuchen u. ſ. w.

212. Gewitter ſind auch häufig von Hagel begleitet. Dieſer beſteht aus Eiskörnern von verſchiedener Größe (1 Linie bis 6 Zoll im Durchmeſſer), die von außen eine dichte, durchſichtige Eisrinde, im Innern einen undurchſichtigen Kern aus Schnee, oft gar aus einer heterogenen Maſſe haben. Er fällt in einigen Gegenden viel öfter als in anderen, kommt zu allen Tageszeiten, am Tage und bei Nacht, doch in letzterer ſeltener vor; man hat ihn bei allen Temperaturen über und unter 0° beobachtet, doch ſcheint er nur der gemäßigten Zone eigen zu ſeyn, indem ein Hagelfall in den Tropenländern, unter 350 T. Höhe, zu den größten Seltenheiten gehört, und auch in den Polargegenden nicht oft vorkommt. Er fällt in der Regel nur im Sommer. Die Wolken, welche ihn führen, ſind tief, aufgedunſen, an den Rändern zerriſſen, und haben an ihrer Oberfläche unregelmäßige Hervorragungen. Ihre Höhe über der Erde iſt meiſtens nur 400 Fuß; doch hat man auch ſehr hohe Hagelwolken beobachtet.

213. Ueber die Entſtehung des Hagels haben ſehr verdiente Ge-

lehrte, wie z. B. Volta, v. Buch, Lichtenberg ꝛc. ihre Anſichten an den Tag gelegt, ohne daß einer derſelben ſich eines allgemeinen Beifalls zu erfreuen hätte. Beim Hagel kommt es vorzüglich darauf an, zu erklären, wie bei der größten Sommerhitze ſo große Eismaſſen entſtehen können. Zu dieſem Behufe nimmt Volta an, daß im Sommer die Wolken ſehr hoch ſteigen und in ſehr trockene Luftſchichten kommen. Beſcheint ſie nun die Sonne, ſo entſtehen an ihrer oberen Fläche Dünſte, die in die Höhe ſteigen, aber dabei in kältere Luftſchichten gelangen, und dort wieder zu einer Wolke verdichtet werden. Dieſe zwei über einander ſchwebenden Wolken müſſen entgegengeſetzte Elektricität haben, und zwar die untere — Elektricität, die obere + Elektricität; die in der unteren Wolke angefachte Verdünſtung bindet Wärme, und bringt die Waſſertheile in derſelben zum Gefrieren. Die ſo entſtandenen Eisſtücke werden zwiſchen den zwei elektriſchen Wolken abwechſelnd angezogen und abgeſtoßen, wie leichte Körper beim elektriſchen Tanze, und dadurch allmälig vergrößert, bis ſie die Elektricität der Wolken nicht mehr erhalten kann, wo ſie dann herabfallen. Gegen dieſe Anſicht ſpricht aber, daß nach Gay-Luſſac's Verſuchen bei einer Temperatur über 8° C. ſelbſt in trockener, geſchweige erſt in der gewöhnlichen, Dünſte enthaltenden Luft, durch Verdünſtung keine ſo große Kälte erzeugt werden kann, wie ſie zur Hagelbildung Noth thut, daß noch Niemand, ſo viele ſich auch in Hagelwolken befanden, das Oſcilliren der Hagelkörner beobachten konnte (Lecoc beobachtete aber, als er ſich ſelbſt in den Wolken befand, eine raſche Rotationsbewegung der Hagelkörner), daß niemals Hagelkörner unter hoch gelegenen Felſenvorſprüngen, Bäumen ꝛc., wohin ſie doch bei ihrem Hin- und Herhüpfen gelangen müßten, gefunden wurden, daß ſelbſt der elektriſche Tanz, dem das Oſcilliren der Hagelkörner ähnlich ſeyn ſoll, zwiſchen einer Metallplatte und einer Waſſerfläche nicht vor ſich geht ꝛc. Nach v. Buch entſteht an Stellen, wo ſich die Erde ſehr ſtark erhitzt, ein aufſteigender Luftſtrom, der die feuchte Luft zu einer ſolchen Höhe emporführt, daß ſchon beim Aufſteigen, und noch mehr in der oberſten Stelle ſehr viel Waſſer daraus ausgeſchieden wird, das in Tropfen herabfällt, verdünſtet, gefriert, durch neuen Dunſtniederſchlag aus der Umgebung vermehrt wird, wieder gefriert, und ſo Hagelkörner bildet. Auch mit dieſer Anſicht ſteht die Wärmebindung beim Verdunſten nicht im Einklange, indem beim gewöhnlichen Feuchtigkeitszuſtande der Luft durch Verdünſtung keine ſolche Kälte entſtehen kann; auch ſieht man daraus nicht ein, warum Hagel ſtets nur bei Gewitterausbrüchen Statt findet; man begreift nicht, wie ſich beim Herabfallen der Anfangs gewiß nur kleinen Hagelkörner ſo große, als ſie bereits beobachtet worden ſind (zu Maſtricht fielen am 3. Auguſt 1827 Eisſtücke von 6 Z. Durchmeſſer, in Padua am 26. Auguſt 1835 Stücke von 17 Centimeter Durchmeſſer, zu Clermont im Juli 1835 ellipſoidiſche Körner von der Größe eines Hühnereies), bilden können; wie ein Hagelfall möglich ſey, der ſich über ganze Länder erſtreckt (Arago erwähnt eines ſolchen Falles, der ſich durch ganz Frankreich bis nach

Holland erſtreckte) ꝛc. Man muß demnach die Bildung des Hagels zu den bis jetzt unerklärten Phänomenen zählen.

Es iſt leicht einzuſehen, daß es Hagelableiter nicht in dem Sinne geben könne, wie Blitzableiter. Eiſerne, im Freien aufgerichtete Stangen, die man als ſolche empfahl, können die Elektricität an ſo hoch ſchwebenden Wolken nicht ableiten, wie die ſind, worin ſich der Hagel bildet, und daher ſelbſt nach Volta's Anſicht auch nicht die Bildung deſſelben hindern; iſt er aber bereits gebildet, ſo können ſie ihn höchſtens durch Einſaugen der Elektricität zum Fallen bringen, und daher mehr zu- als ableiten. Sollte aber, gegen unſere theoretiſche Einſicht, ihre Wirkung ſo groß ſeyn, als man hie und da behauptet; ſo bleibt es unbegreiflich, daß Bäume oder Blitzableiter nicht auch zugleich Hagelableiter ſeyn ſollten. Daß ſie aber dieſes nicht ſind, lehrt die Erfahrung alljährlich, indem beholzte Gegenden und große, mit vielen Blitzableitern verſehene Gebäude eben ſo gut vom Hagel getroffen werden, wie das flache Land mit ſeiner niederen Vegetation.

214. Zu den elektriſchen Erſcheinungen wird auch das Nordlicht gezählt. Dieſes zeigt ſich bisweilen in der Nordgegend des Himmels als eine dunkle Wolke in Geſtalt eines kreisförmigen, vom Horizont begrenzten Segmentes, deſſen Mittelpunct im magnetiſchen Meridiane zu liegen ſcheint, und das mit einem hellen Ringe umgeben iſt, aus welchem von Zeit zu Zeit häufige Lichtbüſchel von verſchiedenen Farben nach allen Richtungen ausfahren, ſich manchmal bis zum Zenith erſtrecken, daſelbſt eine Art Krone bilden, deren Mittelpunct in der verlängerten Axe einer frei ſchwebenden Magnetnadel gegen Süden hin zu liegen ſcheint. Einige beſonders ſtarke Nordlichter ſollen auch ein Geräuſch verbreitet haben, wie das iſt, welches ein Luftzug verurſacht, doch wird dieſes von Einigen gänzlich geläugnet. Fig. 402 ſtellt ein Nordlicht vor. Man ſieht es in den Ländern von größerer Breite häufiger und ſchöner als bei uns, ja wir ſehen nur jene Nordlichter, die hoch genug aufſteigen, um über unſeren Horizont zu kommen. Aber auch nicht jede Gegend von großer geogr. Breite iſt dem Erſcheinen der Nordlichter gleich günſtig. Nach Einigen ſollen in Sibirien und in Nordamerika mehr Nordlichter ſichtbar ſeyn, als im nördlichen Europa. An demſelben Orte iſt manches Jahr reicher an Nordlichtern als ein anderes, vielleicht befolgen ſie eine beſtimmte Periode. Eine ähnliche Erſcheinung findet man auch am Südpole, und nennt ſie Südlicht. Zur Erklärung dieſer merkwürdigen Erſcheinung haben Halley, Euler, Mairan, Franklin, Hell, Lichtenberg, Dalton, Biot, Hanſteen das Ihrige beigetragen, ohne doch eine genügende Theorie zu geben. Man kann nur bis jetzt mit Gewißheit Folgendes ſagen: Weil das Nordlicht nicht wie die Sterne eine tägliche Bewegung von Oſt nach Weſt zeigt, ſo muß es an der Axendrehung der Erde Theil nehmen und daher in der Atmoſphäre ſeinen Sitz haben. Die größte Höhe eines Nordlichtes ſoll 25000 Meter ſeyn. Es afficirt, der Erfahrung gemäß, häufig, aber nicht immer die Magnetnadel, und ändert ihre Abweichung, indem es ihr Nordende abſtoßt, wirkt aber auf nicht magnetiſche, z. B. kupferne Nadeln, gar nicht, hat

dabei mit dem Ausſtrömen der Elektricität viele Aehnlichkeit, und läßt ſich nach Thienemann gerade da am häufigſten ſehen, wo die wenigſten Gewitter Statt finden. Es muß demnach die Elektricität einen Antheil an ſeiner Erſcheinung haben. Doch hat man während eines Nordlichtes keine ungewöhnliche Stärke der Luftelektricität wahrnehmen können. Wichtig iſt Hanſteen's Erfahrung, daß kurz vor dem Eintritte eines Nordlichtes der Erdmagnetismus eine ungewöhnliche Stärke hat, die aber gleich nach dem Beginne des Nordlichtes abnimmt und unter die gewöhnliche Stärke herabſinkt. Aus allem dieſen geht hervor, daß das Nordlicht in einer elektriſchen Entladung beſtehe, über deren nähere Natur erſt weitere Beobachtungen die nöthige Aufklärung geben müſſen. (Zeitſchr. 7. 242; 8. 110; 9. 212.)

Siebentes Kapitel.

Lichtmeteore.

215. Es gibt viele Meteore, die ihr Entſtehen ganz den Modificationen des Lichtes beim Durchgange deſſelben durch die Luft verdanken. Die vorzüglichſten derſelben ſind: 1) die Geſtalt und Farbe des Firmamentes, 2) die Morgen- und Abendröthe, 3) das Funkeln der Sterne, 4) das ſogenannte Waſſerziehen der Sonne, 5) die aſtronomiſche Strahlenbrechung und Luftſpiegelung, 6) Höfe um die Sonne, den Mond und um die Fixſterne; 7) Nebenſonnen und Nebenmonde, 8) Regenbogen, 9) das Zodiakallicht.

216. Die atmoſphäriſche Luft iſt zwar keineswegs vollkommen durchſichtig; doch iſt ihre Durchſichtigkeit ſo groß, daß ſie uns erſt in Schichten von ſehr bedeutender Dicke ſichtbar wird. Zur Beurtheilung der Entfernung der ſichtbaren Luftſchichten haben wir kein anderes Hilfsmittel, als die verſchiedene Intenſität der von ihnen in unſer Auge gelangenden Strahlen. Da nun dieſe Intenſität in der Regel rings um uns in gleicher Höhe gleich groß, nahe am Zenith aber größer iſt, als tiefer abwärts; ſo ſcheint die ſichtbare Luftmaſſe unſere Erde wie eine am Zenith etwas eingedrückte Kugel zu umſpannen. Daß ſie uns blau erſcheint, vermögen wir freilich nicht weiter zu erklären, als daß wir ſagen, es liege in der Natureinrichtung, daß von den durch die Erde der Luft zugeſendeten Strahlen gerade die blauen vorzugsweiſe reflectirt werden. Wiewohl die Luft zu den durchſichtigſten Körpern in der Natur gehört, ſo wird doch ihre Durchſichtigkeit durch mehrere Umſtände, vorzüglich durch beigemengte Stoffe und durch Wärmewechſel, bedeutend abgeändert, und darum wechſelt die Farbe des Himmels vom intenſivſten Blau durch alle Abſtufungen deſſelben bis zum blaſſeſten und zur gänzlichen Undurchſichtigkeit. Beigemengtes expanſibles Waſſer macht die Luft durchſichtiger und erhöht daher den Ton ihrer blauen Farbe, aus demſelben Grunde, aus welchem Papier durch

Oelen durchſichtiger wird (S. 615); daher auch ein ſehr dunkelblauer Himmel auf die Gegenwart vieler Dünſte ſchließen läßt. So wie aber dieſe Dünſte ihre Ausdehnſamkeit verlieren, machen ſie den Himmel blaſſer, und können ihm ſeine Durchſichtigkeit ganz benehmen. Andere nicht ausdehnſame, in der Luft befindliche Stoffe, wie z. B. der ſogenannte Sonnenſtaub, wirken wie fein zertheiltes Waſſer. Beim Sehen durch Fernröhre, bei Verſuchen mit Brennſpiegeln ꝛc. überzeugt man ſich von Aenderungen der Durchſichtigkeit der Luft, die man mit freiem Auge gar nicht wahrnimmt. Sie rühren wahrſcheinlich von der ungleichen Vertheilung der Wärme in der Luft, und vom Wechſel ungleich warmer Luftſchichten her, die wie heterogene Mittel auf das Licht wirken. Man hat zur Beſtimmung der Bläue des Firmamentes eigene Inſtrumente, Cyanometer. Der Grund dieſer unvollkommenen Durchſichtigkeit der Luft liegt gewiß darin, daß ſie kein ſtetiges Gemenge von ungleichartigen Körpern iſt; denn ein Lichtſtrahl wird nothwendig bei jedem Uebergange von einem Theilchen in den leeren Raum zum Theile reflectirt. Dieſes zeigt ſich vorzüglich dadurch, daß die Bläue des Firmamentes deſto dunkler iſt, je mehr ſich Waſſerdünſte (nicht fein zertheiltes Waſſer) in der Luft befinden, mithin je ſtetiger das Gemenge iſt. Auf hohen Bergen fand Sauſſure die Luft völlig dunkelblau, und ſelbſt in der Ebene erſcheint ſie uns nach einem Regen, beſonders an der der Sonne gegenüberſtehenden, heiteren Seite, von einem ſehr geſättigten Blau, das gegen die Sonne hin immer blaſſer wird und zuletzt völlig in Weiß übergeht.

Sauſſure's Cyanometer beſteht aus einer in 51 Felder eingetheilten Platte, deren Farbe vom lichteſten bis zum dunkelſten Blau wechſelt. Man erhält ſie durch Vermiſchung des Blau mit Weiß oder Schwarz in verſchiedenen, beſtimmten Verhältniſſen. Die Zahl des Feldes, deſſen Blau mit dem des Himmels übereinſtimmt, gibt den Grad der Bläue des letzteren an. Kämtz hat ein anderes Cyanometer angegeben (deſſen Vorleſungen über Meteorologie. Halle 1840. S. 489). Holger's Zeitſchr. 1. 201. Leslie beſtimmt die Durchſichtigkeit des Raumes durch ein Differenzialthermometer, das eine vergoldete Kugel hat, und mit der anderen im Brennpuncte eines paraboliſchen Hohlſpiegels ſteht. Dieſe Kugel erkaltet deſto mehr, je heller der Himmel iſt. Er nennt dieſes Inſtrument Aethrioſkop.

217. Wenn der weſtliche Himmel heiter oder nur mit einem dünnen Wolkenſchleier überzogen iſt, ſo ziert ihn nach Sonnenuntergang die herrliche Naturerſcheinung, die Abendröthe, deren Farbe nach der verſchiedenen Reinheit des Firmamentes von Gelb und Hellroth bis zum Dunkelroth wechſelt. Wenn nämlich die Sonne dem Untergange ziemlich nahe iſt, und leichte Wolken am Horizont ſtehen, ſo erſcheinen dieſelben im Oſten roth. So wie die Sonne tiefer ſinkt, färben ſich auch noch die weſtlichen dünnen Wolken mit dem Abendroth, und die ganze Abendgegend erſcheint orange, dichtere, niederſchwebende Wolken ſind mit herrlichem Purpur bekleidet, während höhere noch weiß erſcheinen. Nach Sonnenuntergang ſieht man, wenn am Tage das Firmament ſchön blau war, ein zartes Roth am Himmelsgewölbe, und im

Oſten, der Sonne gegenüber, einen dunklen, bogenförmigen Raum mit tieferem Blau, über dieſem einen röthlichen, und noch höher hinauf einen weißen Bogen. Ueber dieſem erſcheint das gewöhnliche Blau des Firmamentes, das gegen Weſten hin in mancherlei Abſtufungen in die Farbe der Abendröthe übergeht. Alle dieſe Erſcheinungen treten mehr und weniger deutlich hervor, und ihre größere oder kleinere Entwicklung hängt von der Stellung der Wolken, von der Durchſichtigkeit der Luft, und ſelbſt von den am weſtlichen Horizont befindlichen irdiſchen Gegenſtänden ab. Am Morgen zeigt ſich vor Sonnenaufgang unter ähnlichen Bedingungen an der Oſtſeite dieſelbe Erſcheinung, und heißt Morgenröthe. Dieſes Phänomen hat man aber ſehr zu erklären geſucht und die mannigfaltigſten Hypotheſen zu dieſem Ende ausgeſonnen; am wahrſcheinlichſten rührt es von dem Umſtande her, daß Waſſerdunſt in einem beſonderen Stadium ſeiner Zerſetzung im durchgelaſſenen Lichte gelblich roth erſcheint, und das Licht der auf- oder untergehenden Sonne gerade ſolche Dunſtſchichten durchfahren muß. (Forbes in Pogg. Ann. 47. 593; Ergänzungsband 1. 49.)

218. Weil die Dünſte das Licht ſtärker brechen, als die reine Luft, ſo müſſen ſie, wenn ſie vom Winde hin und her bewegt werden, eine Erſcheinung an den Geſtirnen hervorbringen, welche dem Flackern einer vom Winde bewegten Flamme ähnlich iſt. Geſchieht dieſes ſehr ſchnell, ſo erſcheinen die Sterne auch größer und heller. Es iſt bekannt, daß man das Stattfinden dieſer Erſcheinung für einen Vorboten naſſer Witterung anſieht. Aus der ſtarken lichtbrechenden Kraft der feuchten Luft erklärt ſich auch die auffallende, ſcheinbare Nähe ſonſt ferner Gegenſtände.

219. Wenn die Sonne hinter einem Gewölke ſteht, das nahe daran iſt, Regen herabzuſchütten, durch einige Oeffnungen deſſelben hindurchſcheint und die Luft beleuchtet; ſo reflectiren die Waſſertröpfchen das Licht, und es erſcheinen Streifen, die lichter ſind, als ihr Grund. Dieſe Streifen ſcheinen gegen die Sonne hin zu convergiren und ſich hinter der Wolke zu vereinigen, als wenn ſich dort die Sonne befände. Dieſes Phänomen, welches unter dem Namen Waſſerziehen der Sonne bekannt iſt, verkündet baldigen Regen. Es erſcheint im Sommer öfter als im Winter, und bei niederem Sonnenſtande öfter als bei hohem. Seltener ereignet es ſich, daß man Strahlen ſieht, die von einem der Sonne gerade entgegengeſetzten Puncte des Firmamentes auszufahren ſcheinen, aber immer viel ſchwächer ſind, als die vorhin beſprochenen. Sie beruhen auf demſelben Grunde, wie jene. Die von der Sonne ausgehenden, nach der entgegengeſetzten Gegend des Firmamentes hinfahrenden Strahlen werden durch Reflexion in den Dünſten der unteren Luftregion eben ſo ſichtbar, wie ein Lichtſtrahl in einem dunkeln Zimmer durch Reflexion in den feinen, in der Luft ſchwebenden Stäubchen, und wiewohl dieſe Strahlen parallel ſind, ſo ſcheinen ſie doch durch optiſche Täuſchung gegen die fernſten Stellen zu convergiren, gerade ſo wie eine parallele Baumreihe gegen das von uns entfernteſte Ende zu convergiren ſcheint.

220. Wenn das Licht in die Atmoſphäre eintritt, ſo erleidet es eine Brechung zum Einfallslothe; dasſelbe erfolgt, ſo oft es von dünnerer in dichtere Luft übergeht. Darum muß ein Lichtſtrahl, der durch die ganze Atmoſphäre zu uns gelangt, eine nach oben convexe Bahn beſchreiben, die deſto mehr gekrümmt iſt, je länger der in der Atmoſphäre zurückgelegte Weg des Lichtes iſt. Die Wirkung dieſer Krümmung der Bahn eines Lichtſtrahles iſt, daß jeder Punct, der einen ſolchen Strahl in unſer Auge abwärts ſendet, höher zu liegen ſcheint. Am Horizont iſt dieſe Wirkung am größten und am unregelmäßigſten; je näher dem Zenithe, deſto kleiner und regelmäßiger erſcheint ſie, bis ſie im Zenithe ſelbſt ganz verſchwindet. Die Kenntniß dieſer Strahlenbrechung, die man, wenn die Strahlen von irdiſchen Objecten kommen, irdiſche, wenn ſie von Himmelskörpern kommen, aſtronomiſche Strahlenbrechung nennt, iſt bei der Beſtimmung des Ortes eines entfernten Körpers von großer Wichtigkeit. Vermöge derſelben geht die Sonne früher auf und ſpäter unter, ſo daß dadurch der längſte Tag bei uns nahe um 8,5 M., in den Polargegenden um 1 Monat verlängert wird. Die Strahlenbrechung beträgt nahe am Horizont 30 M., in einer Höhe von 45° kaum 1 M., in einer Höhe von 75° nahe 16 Sec.; in mäßiger Entfernung vom Zenith iſt ſie der Tangente des Abſtandwinkels proportional.

221. Die Brechung des Lichtes in der Luft erfolgt zwar in der Regel ſo, daß ein horizontal oder abwärts fahrender Strahl eine nach oben convexe Bahn einſchlägt, weil die Luft in der Regel oben dünner iſt, als unten; allein es gibt doch Fälle, wo wegen der höheren Temperatur der unteren Luftſchichten das Gegentheil Statt findet, und ein aufwärts fahrender Strahl wieder abwärts gekrümmt wird. Dadurch können von den Gegenſtänden, die unter dem Horizonte liegen, Strahlen ins Auge gelangen und ſelbe ſichtbar machen; es können auch dieſe ſowohl, als auch die über dem Horizonte gelegenen Dinge doppelt, verkehrt, verſchoben, in der Luft ſchwebend erſcheinen, wie Fig. 403 zeigt. Alle dieſe Phänomene ereignen ſich nur in großen (wenigſtens 2 Stunden langen) Ebenen, und ſind unter dem Namen der Luftſpiegelung, Seegeſicht, Kimmung bekannt. Es ſey AB (Fig. 404) ein Gegenſtand, der ſich unter dem Horizonte OH des Auges O befindet. Werden die Strahlen, welche von AB ausgehen, ſo gebrochen, daß ſie die Krümmung AO und BO bekommen, ſo erſcheint AB ober OH in ab. Werden die Strahlen, welche ſonſt über dem Auge vorbeigegangen wären, in dasſelbe abgelenkt, ſo kann nebſt ab auch noch ein zweites Bild a'b' erſcheinen, das ſogar verkehrt ſeyn kann, wenn der untere Strahl eine mehr convexe Linie beſchreibt, als der obere.

222. Bei feuchter Witterung ſieht man nicht ſelten den Himmel mit einem dünnen Wolkenſchleier überzogen, und die Sonne, den Mond oder auch Fixſterne der größeren Art mit einem Ringe umgeben, der lichter iſt, als der übrige Theil des Firmamentes, und Hof heißt. Dieſer zeigt ſich oft mit Regenbogenfarben. Man unterſcheidet aber zweier-

lei Höfe, kleinere mit dem Körper, den ſie umgeben, zuſammenhängende, die, falls ſie gefärbt erſcheinen, nach außen roth ſind und bald einen größeren, bald kleineren Durchmeſſer haben, und größere, vom Centralkörper ziemlich weit abſtehende (Ringe), bei denen die rothe Farbe nach innen gekehrt iſt und deren Durchmeſſer gegen 45° beträgt; bei letzteren hat man auch oft einen zweiten Farbenring in doppelt ſo großer Entfernung vom leuchtenden Körper wahrgenommen. Fig. 405 zeigt dieſes Phänomen. Die Höfe hat Huyghens aus der Brechung des Lichtes in gefrornen Dunſtkügelchen, die einen undurchſichtigen Kern haben, Mayer aus der Brechung in Dunſtbläschen zu erklären geſucht. Die naturgemäßeſte Erklärung hat Fraunhofer geliefert. Er erklärt die kleineren Höfe aus einer Beugung der Lichtſtrahlen, die an den Rändern der in der Atmoſphäre ſchwebenden Dunſtkügelchen vorbeifahren, beweiſet, daß dieſe Beugung gerade ſo vor ſich gehe, als wenn das Licht durch eine Oeffnung von einem dem Kügelchen gleichen Durchmeſſer geleitet würde, und überzeugte ſich, daß man im Geſichtsfelde eines achromatiſchen Fernrohres einem Hofe der kleineren Art völlig ähnliche Farbenringe ſieht, wenn man vor dem Objectivglaſe ſehr viele, ungemein kleine Glaskügelchen von beinahe gleicher Größe anbringt, und durch eine runde Oeffnung einen ſtarken Lichtſtrahl darauf leitet. Dieſe Ringe ſind deſto größer, je kleiner die Glaskügelchen ſind. Es ſtellen nun die kleinen Scheibchen in Fig. 406 Dunſtkügelchen vor, auf welche von der Sonne oder dem Monde S directe parallele Strahlen auffallen, die am Rande jedes einzelnen Kügelchens gebeugt werden, und nach der Beugung unter verſchiedenen Winkeln ausfahren. Geſetzt, es fahren die vom Kügelchen b gebeugten ſo aus, daß rothe Strahlen, welche den erſten Ring bilden, ins Auge O gelangen, ſo werden die rothen des zweiten und dritten Ringes das Auge verfehlen, und den Weg bf, bg einſchlagen. Dafür können vom Kügelchen a die rothen des zweiten Ringes nach O gelangen. Auf ähnliche Weiſe geſchieht es mit den Strahlen von anderen Farben. Sind nun die Dunſtkügelchen im ganzen Raume nach allen Richtungen zerſtreut, ſo ſieht das Auge Farbenringe um S, wovon der erſte, rothe in einem Abſtande bOS, der zweite rothe in einem Abſtande aOS vom leuchtenden Körper erſcheint. Haben die Dunſtkügelchen beinahe einerlei Größe, ſo haben alle homogenen Ringe einerlei Durchmeſſer, ſie fallen auf einander und verſtärken den Eindruck jedes einzelnen; haben ſie aber eine verſchiedene Größe, ſo fallen die Ringe von verſchiedener Farbe an denſelben Platz, die Farben werden matter oder verſchwinden ganz, ſo daß nur ein heller Ring um den leuchtenden Körper übrig bleibt. Sind die Dunſtkügelchen groß, ſo werden die Farbenringe ſehr klein, und können um größere und heller leuchtende Geſtirne nicht mehr geſehen werden, theils weil des größeren Durchmeſſers wegen die Farben in einander fallen, theils weil ihr Licht in ſo großer Nähe beim leuchtenden Körper verſchwindet. In dieſem Falle können aber noch um Fixſterne Höfe erſcheinen. Man begreift wohl, daß man in einem ſehr feuchten Zimmer um ein Kerzenlicht einen Hof

wahrnehmen kann, und daß der Mond und die Sonne durch ein ſtark mit Dünſten beſchlagenes Fenſter mit einem Hofe erſcheinen muß, während man im Freien dieſes nicht bemerkt. Die größeren Höfe (Ringe) erklärt Fraunhofer aus der Brechung des Lichtes in Eiskryſtallen aus ſechsſeitigen oder dreiſeitigen Prismen. Er zeigt, daß ſie nicht durch Beugung oder Brechung und Reflexionen in Dunſtkügelchen oder Dunſtbläschen abgeleitet werden können, beſtimmt aus ſeiner Formel den Durchmeſſer der größeren Höfe, der mit dem durch die Erfahrung gegebenen ſehr wohl übereinſtimmt. Haben die Eisprismen eine pyramidale Zuſpitzung, ſo laſſen ſich aus einer Brechung des Lichtes in denſelben auch die zweiten größeren Höfe, ja durch Reflexion des in ein ſolches Prisma einfallenden Lichtes im Inneren deſſelben, ſogar ein dritter, wie ihn Hevel geſehen haben will, vollſtändig, dem Maße nach erklären. (Dove in Pogg. Ann. 26. 310. Galle in Pogg. Ann. 49. 1.)

223. Manchmal ſieht man bei trüber Luft und kalter Witterung nebſt der wahren Sonne oder dem wahren Monde noch mehrere andere, die man Nebenſonnen und Nebenmonde nennt. Sie befinden ſich im Umfange eines weißlichen, horizontalen Ringes (Nebenſonnenkreiſes), deſſen Breite dem ſcheinbaren Durchmeſſer des Geſtirnes gleicht, und der ſelbſt von farbigen Höfen, die das Geſtirn umgeben, durchſchnitten wird. Die Nebenſonnen und Nebenmonde ſtehen in dem Durchſchnitte des obigen Ringes und der Höfe, haben nicht ſelten vom Geſtirne abgewendete, weiße, lange Schweife, und ſind auch manchmal mit dem wahren Geſtirne durch ein lichtes Kreuz verbunden. (Fig. 407.) Das innerhalb des kleineren Hofes befindliche Stück des Nebenſonnenkreiſes erſcheint immer matter als der übrige Theil deſſelben. Man bemerkte auch ſchon Nebenſonnen in einer verticalen, lichten, dem Durchmeſſer des gerade aufgehenden Geſtirnes an Breite gleichen Säule. Selten zeigt ſich das Phänomen der Nebenſonnen in ſeiner ganzen Vollſtändigkeit, wo es aus wenigſtens dreizehn Ringen oder Ringtheilen beſteht, in deren Durchſchnittspuncten die Nebenſonnen erſcheinen.

224. Die Nebenſonnen und Nebenmonde, nebſt den ſie begleitenden Phänomenen, hat zuerſt Huyghens, und in unſerer Zeit Fraunhofer zu erklären geſucht, und wiewohl dieſe beiden Gelehrten von ſehr verſchiedenen Geſichtspuncten ausgingen, ſo genügen doch beide Erklärungen der Erfahrung, und es muß erſt die Zukunft hierüber näher entſcheiden. Huyghens nimmt an, es bilden ſich in den Wolken ſechsſeitige Eisprismen, die bei ihrem Herabſinken eine ſolche Lage annehmen, daß ſie den kleinſten Widerſtand erfahren, und dieſem gemäß nehmen die Axen der längeren Prismen (Eisnadeln) eine verticale, jene der kürzeren (Tafeln) eine horizontale Lage an. Die verticalen Seitenflächen der erſteren und die Grundflächen der letzteren ſtellen eben ſo viele verticale Planſpiegel vor, welche dem Auge des Beobachters vom leuchtenden Körper Licht zuſenden, und ihm von demſelben ein Bild gewähren, welches mit ihm gleich hoch ſteht und einen Winkelab-

ſtand hat, der dem doppelten Einfallswinkel des Lichtes, von der Spiegelfläche an gerechnet, gleich kommt. Sind dieſe Eisnadeln in allen Azimuthen vorhanden, ſo liefern ſie einen horizontalen farbloſen Lichtring von der Breite des leuchtenden Objectes. Er geht durch dieſes Object, weil die ſehr ſchief einfallenden Strahlen ein dieſem Objecte ſehr nahes, jene aber, deren Einfallswinkel = o iſt, ein wirklich mit dem Objecte zuſammenfallendes Bild geben. Dieſe Erklärung hat neueſtens Babinet durch künſtliche Nachbildung des betreffenden Phänomens auf dem Wege der Reflexion zu bekräftigen geſucht. Nach Fraunhofer rühren die geſammten, hier in Rede ſtehenden Phänomene von der Beugung des Lichtes an Dunſtkügelchen her. Der Umſtand, daß die aufgehende Sonne, durch ein Gitter angeſehen, welches aus horizontalen, einander hinreichend nahen und gleich weit von einander abſtehenden Fäden beſteht, das Phänomen der verticalen Nebenſonnen ganz genau zeigt, brachte ihn auf den Gedanken, dieſe Erſcheinung entſtehe durch Beugung des Lichtes an den Dunſtkügelchen der Atmoſphäre. Man denke ſich in einer Schichte des Dunſtkreiſes Dunſtkügelchen, die gegen die Weltgegenden unregelmäßig verbreitet ſind, aber doch ſo liegen, daß je zwei von ihnen für einen horizontal auffallenden Strahl einerlei Entfernung haben. Fallen nun Strahlen der im Horizonte befindlichen Sonne auf ſie ein, ſo werden ſie an ihren Rändern gebeugt, in verticaler Richtung wirken ſie aber viel näher auf einander ein, als in horizontaler, und bringen dieſelben Phänomene hervor, wie die vorher genannten parallelen, horizontalen Linien. Daß keine Farben zum Vorſchein kommen, rührt davon her, daß wegen der Ausdehnung des Sonnendurchmeſſers die verſchiedenfarbigen Streifen in einander fallen und durch ihren Geſammteindruck die Empfindung der weißen Farbe erzeugen. Weil der Abſtand der Mitte je zweier Dunſtkügelchen an verſchiedenen Tagen verſchieden ſeyn kann, ſo iſt auch der Abſtand der verticalen Nebenſonnen nicht immer nothwendig derſelbe, und weil dieſer Abſtand für verſchiedene Kügelchen in einem großen Grade ungleich ſeyn kann, ſo erſcheint oft gar keine Nebenſonne, ſondern nur ein verticaler Lichtſtreifen, d. i. eine ſogenannte Feuerſäule, wie man ſie manchmal ſieht. Auch eine dem horizontalen Ringe analoge Erſcheinung lehrt Fraunhofer künſtlich hervorbringen. Radirt man in ein mit Gold belegtes Glas parallele, aber ſehr ungleich von einander abſtehende Linien, und ſieht durch dieſes, bei einer verticalen Richtung der Linien auf die Sonne, ſo erblickt man zu beiden Seiten derſelben einen horizontalen, weißen Lichtſtreifen, der ſo breit iſt, wie der ſcheinbare Sonnendurchmeſſer, und ſo lang als das Glas. Sieht man die Sonne durch ein ſolches Glas an, worauf gerade, von einem Puncte ausgehende Linien gezogen ſind, und welches gegen die Sonne gehörig geneigt iſt, ſo erblickt man einen vollſtändigen weißen Kreis. Gibt es nun im Dunſtkreiſe kleine Körperchen, z. B. Dunſtkügelchen, Kryſtalle, die für den horizontal kommenden Lichtſtrahl in verticalen Linien zu liegen ſcheinen, für das Auge des Beobachters eine regelmäßige Lage haben, und deren Abſtände gegen ihren

Durchmeſſer ſehr klein ſind; ſo bieten ſie den Lichtſtrahlen im verticalen Sinne keine Zwiſchenräume dar, ſondern decken ſich, und die Strahlen werden daher nur in horizontaler Richtung abgelenkt, und gelangen ſo ins Auge. Daher der horizontale Kreis. Seine Farbloſigkeit kommt wieder von der verſchiedenen Entfernung je zweier beugender Körper oder von ihrer verſchiedenen Größe. Können auch im verticalen Sinne einige Strahlen gebeugt werden, ſo bemerkt man auch einen verticalen Lichtſtreifen vom leuchtenden Körper aus, ſo daß dieſer mit einem Kreuze erſcheint. Wo der horizontale Ring einen Hof durchſchneidet, muß eine größere Lichtſtärke herrſchen, und es muß daſelbſt eine horizontale Nebenſonne erſcheinen, die noch dadurch verſtärkt wird, daß wegen den im horizontalen Sinne größeren Zwiſchenräumen der Eiskryſtalle nach dieſer Richtung mehr gebeugtes Licht ins Auge des Beobachters gelangen kann. Der Schweif, welcher Nebenſonnen oft begleitet, kommt daher, daß die gebrochenen Strahlen zwar an beſtimmten Stellen (wo ſie den größeren Hof bilden) am ſtärkſten das Auge afficiren, allein doch auch außerhalb dieſer Stelle noch eine empfindbare Stärke haben. (Theorie der Höfe, Nebenſonnen von Fraunhofer, in den aſtronomiſchen Nachrichten herausgegeben von Schumacher. Altona 1825. Heft 3. Pogg. Ann. 16. 67. Brandes in ſeinen Unterhaltungen für Freunde der Phyſik. 3. Hft. S. 205. Babinet in Pogg. Ann. 41. 128.)

Dieſe Lichtphänomene ſind viel häufiger, als man gewöhnlich glaubt. Mayer hat in einem Jahre (April 1826 bis April 1827) um die Sonne 47 große, 6 kleine Ringe, 13 horizontale und 7 verticale Nebenſonnen, und um den Mond 12 große, 15 kleine Ringe beobachtet. Kleine Ringe ſollen ſich beſonders bilden, wenn der Cirrocumulus am Himmel ſich zeigt, und auch deſto größer ſeyn, je größere Flocken dieſe Wolkenart bilden. Große Ringe, Nebenſonnen, Nebenmonde ꝛc. fordern zu ihrem Entſtehen entweder den Stratus oder den Cirroſtratus. (Mayer in Kaſt. Arch. 13. 237.)

225. Eine der ſchönſten Lufterſcheinungen iſt der Regenbogen. Er erſcheint in jenen Regenwolken, die von der Sonne beſchienen werden, und dem Auge des Beobachters gegenüberſtehen, und zeigt die gewöhnlichen prismatiſchen Farben, wovon Violett nach innen, Roth nach außen vorkommt. Wenn dieſe Farben recht lebhaft ſind, ſo bemerkt man auch einen zweiten Regenbogen mit einem größeren Halbmeſſer, als jener des erſteren iſt, ſeine Farben ſind minder lebhaft und folgen in verkehrter Ordnung auf einander, ſo daß die innere roth, die äußere violett iſt. Unter beſonders günſtigen Umſtänden wird ſelbſt ein dritter Regenbogen bemerkbar. Manchmal zeigen ſich nur Stücke eines Regenbogens, ſogenannte Regengallen. Regenbogen, welche unter denſelben Bedingungen durch den Mond entſtehen, wie die genannten durch die Sonne, ſind nicht ſo häufig, und immer matter als erſtere.

226. Die Entſtehung des Regenbogens beruht auf der Brechung und Reflexion des Lichtes und der ſie begleitenden Farbenzerſtreuung, und zwar verdankt der erſte oder Hauptbogen jenen Modificationen des

Lichtes in den Regentropfen sein Entſtehen, welche in 271, der zweite der Regenbogen denjenigen, welche in 272 näher betrachtet und der Rechnung unterworfen worden ſind. Es ſey A (Fig. 408) ein kugelförmiger Regentropfen und SA ein darauf fallender weißer Sonnenſtrahl, der durch zwei Brechungen und eine Reflexion in das in O befindliche Auge gebracht wird. In dieſem wird er aber nur dann einen hervorſtehenden Eindruck machen, wenn er zu den wirkſamen Strahlen gehört, d. h. wenn der Einfallswinkel α der Bedingung $\cos\alpha = \sqrt{\frac{n^2-1}{3}}$ entſpricht. Es ſey durch O die mit SA parallele OF gezogen. Da iſt nun klar, daß alle Tropfen, welche in einem Kreiſe liegen, den der Punct B beſchreibt, wenn ſich die Linie OB um die Axe OF dreht, dieſer Bedingung entſprechen werden, und daß demnach das Auge O einen hellen Kreis um OF ſehen muß. Aber da es für jeden farbigen Strahl einen beſonderen Werth von α gibt, ſo werden auch ſo viel verſchiedenfarbige Kreiſe um OF ſichtbar werden müſſen, als es Werthe von n für das weiße Sonnenlicht gibt. Für rothe Strahlen, für welche bei dem Uebergange aus Luft in Waſſer $n = 1{,}33209$ iſt, hat man $\alpha = 59^\circ\, 27'\, 50''$, für violette, denen $n = 1{,}33888$ entſpricht, iſt $\alpha = 59^\circ\, 3'\, 50''$. Nach 271 iſt aber der halbe Winkel BOF gleich $2\beta - \alpha$, wo α den Einfalls-, β den Brechungswinkel bezeichnet. Setzt man nun für α und β die numeriſchen Werthe, wie ſie dem rothen und violetten Lichte entſprechen, ſo erhält man BOF für rothe Strahlen $= 42^\circ\, 12'$, für violette $= 41^\circ\, 13'\, 40''$. Mithin iſt im farbigen Bogen der violette Saum nach einwärts, der rothe nach auswärts gekehrt, den Zwiſchenraum füllen die übrigen Farben in natürlicher Aufeinanderfolge aus. Die Breite des ganzen Bogens wäre dieſem nach $= 58'\, 20''$. Allein man muß bedenken, daß die ſo eben gemachte Betrachtung von jedem Puncte der Sonnenſcheibe gilt und daß demnach jede Farbe, wenn ſie allein vorhanden wäre, eine dem ſcheinbaren Sonnendurchmeſſer gleiche Breite, mithin der ganze farbige Bogen eine um dieſen Durchmeſſer größere Breite haben müſſe, wobei jedoch nur die äußeren Farben deutlich hervortreten werden, die mittleren aber ſich durch gegenſeitige Deckung ſchwächen. — Aehnliche Betrachtungen laſſen ſich bezüglich des Nebenregenbogens anſtellen. Für dieſen fordern die wirkſamen Strahlen einen Einfallswinkel, deſſen Coſinus $= \sqrt{\frac{n^2-1}{8}}$ iſt, mithin für rothes Licht $71^\circ\, 52'$, für violettes $71^\circ\, 39'$ beträgt, und der vorher mit BOF bezeichnete Winkel hat für dieſes den Werth $52^\circ\, 40'$, für jenes $50^\circ\, 22'$, wobei der Einfluß des Sonnendurchmeſſers bereits berückſichtiget iſt. Der ganze Bogen hat alſo eine Breite von nahe $2^\circ\, 18'$ und der Zwiſchenraum zwiſchen dieſem und dem erſten Regenbogen beträgt $50^\circ\, 22' - 42^\circ\, 12' = 8^\circ\, 10'$.

227. Aus dieſer Anſicht, deren Richtigkeit ſowohl durch die Uebereinſtimmung der wirklichen Maße mit den aus der Theorie abgeleiteten, als auch dadurch unterſtützt wird, daß der Polariſationszuſtand des Regenbogenlichtes den hier vorausgeſetzten Modificatio-

nen entſpricht, läßt ſich auch einſehen, daß bei uns nie ein Regenbogen gegen Süden erſcheinen kann, daß jeder Beobachter ſeinen eigenen Regenbogen ſieht, und zwar in jedem Augenblicke einen anderen, indem die Sonne ihre Lage gegen die Regenwolke in jedem Augenblicke ändert, daß er in jedem Augenblicke von anderen Tropfen gebildet wird, daß beſonders im flachen Lande, wo die Regenwolken gewöhnlich weit entfernt ſind, nur ein Stück des gefärbten Kreiſes über dem Horizonte liegt. Zieht man nämlich durch O die horizontale OH, ſo iſt klar, daß das ſichtbare Stück des Hauptregenbogens durch den Winkel BOH = BOF — HOF = 42° — HOF ausgedrückt, wobei HOF die Sonnenhöhe bezeichnet. Man ſieht daher dieſen Regenbogen nur, wenn die Sonnenhöhe kleiner als 42° iſt, und der ſichtbare Bogen hat ſelbſt beim Sonnenuntergange nur eine Höhe, welche dieſem Winkel gleicht. Auf hohen Bergen ſieht man einen größeren Theil, und man würde einen ganzen Kreis ſehen, wenn das Auge 42° unter den Horizont reichte. Dieſes kann geſchehen, wenn die Tropfenwand dem Auge nahe iſt, wie es bei Waſſerfällen oft geſchieht.

228. Eine genaue Betrachtung der Regenbogen, namentlich des intenſiveren Hauptregenbogens lehrt, daß derſelbe jederzeit innerhalb des violetten Randes von einigen concentriſchen Farbenſäumen, an welchen ſich beſonders ein Wechſel von Roth und Grün wahrnehmen läßt, begleitet wird. Dieſe Erſcheinung, welche bisher zu verſchiedenen Meinungen über ihren Urſprung Anlaß gegeben hat, findet, wie Airy vor Kurzem bewies, nicht in den Principien der gewöhnlichen geometriſchen Optik, ſondern einzig und allein in der Undulationstheorie des Lichtes ihre wahre Erklärung. Sie iſt eine Folge des Umſtandes, daß in der Nähe einer Brennlinie, dergleichen ein Regenbogen iſt, aus ähnlichen Gründen wie bei den Beugungsphänomenen, mehrere Maxima und Minima der Lichtſtärke obwalten, nach Maßgabe der Phaſenunterſchiede, in welchen die ſich da zur wirkſamen Welle vereinigenden Elementarwellen mit einander zuſammen treffen. (Vergl. S. 568.) Schon Arago hatte hier ein Interferenzphänomen vermuthet.

Außer den oben beſprochenen gewöhnlichen Regenbogen zeigen ſich manchmal auch noch ungewöhnliche Erſcheinungen. Dahin gehören die verſchiedenen Mittelpuncten entſprechenden, einander durchſchneidenden, oder gar umgekehrten Regenbogen. Man erklärt dieſelben aus der Wirkung eines durch Reflexion an ruhig ſtehendem Waſſer hervorgebrachten Spiegelbildes der Sonne, das gleichſam die Anweſenheit einer zweiten Sonne vertritt.

229. Zu den leuchtenden merkwürdigen Lufterſcheinungen gehört auch das Zodiakallicht, d. i. ein blaſſer, weißlicher Schimmer, welcher die Geſtalt einer ſchief liegenden Pyramide hat, deren Baſis auf dem Horizonte ſteht, deren Spitze nach dem culminirenden Puncte des Aequators gerichtet iſt. Es erſcheint nur zur Zeit der Nachtgleichen, und zwar im Herbſte vor, im Frühlinge nach Sonnenuntergang. Nach Mairan's Erklärung iſt dieſe Erſcheinung die entweder ſelbſt

leuchtende oder erleuchtete Sonnenatmoſphäre, welche wegen des ſchnellen Umſchwunges der Sonne eine linſenförmige Geſtalt hat. Daß man ſie nicht immer ſieht, kommt von der ſchiefen Lage der Ekliptik gegen den Horizont und der verſchiedenen Dauer der Dämmerung. Allein es läßt ſich nach dem Geſetze der Gravitation darthun, daß ſich die Sonnenatmoſphäre nicht einmal bis zur Merkurbahn erſtreckt, mithin dieſe Erſcheinung durchaus nicht hervorbringen kann. Man muß deßhalb dieſe Erſcheinung zu den noch unerklärten zählen.

Achtes Kapitel.

Feuermeteore.

230. Die ſogenannten feurigen Lufterſcheinungen gehören zu den räthſelhafteſten Phänomenen im Reiche der Natur. Man hat über ihr Entſtehen und Weſen nichts als mehr oder weniger gewagte Hypotheſen. In die Claſſe dieſer Erſcheinungen gehören die Irrlichter, Sternſchuppen und Feuerkugeln.

231. Die Irrlichter ſind kleine Flämmchen, welche Nachts, vorzüglich an feuchten Orten, wo thieriſche Körper in Fäulniß übergehen, bemerkt werden, auf und nieder, hin und her hüpfen, ſich zu einem vereinigen und ſich wieder trennen. Sie ſind wahrſcheinlich gephosphortes Waſſerſtoffgas, das ſich ſucceſſiv, an verſchiedenen Puncten in verſchiedener Menge entwickelt, und ſobald es die unteren, vorzüglich Nachts durch die Pflanzen ausgehauchten Schichten kohlenſaurer Luft überſchritten hat, ſich entzündet. Wenn ſie auch ununterbrochen zu leuchten ſcheinen, ſo kommt dieſes doch nur davon her, daß die Gasentwicklung ununterbrochen vor ſich geht, und jedes verbrannte Theilchen gleich wieder durch ein anderes erſetzt wird. Durch den Luftzug können ſolche Theilchen verſchiedene Bewegungen bekommen, ſich heben und ſenken, vertheilen und ſich wieder vereinigen.

232. Jedermann kennt gewiß jene kleinen leuchtenden Körper, die, einem Sterne ähnlich, mit bedeutender Geſchwindigkeit am Himmel fortſchießen, und in wenigen Secunden verſchwinden. Man nennt ſie Sternſchnuppen. Sie erſcheinen in ſehr verſchiedener Größe, und zwar wie Sterne der dritten bis ſechsten Größe, oft ſogar ſo glänzend wie Jupiter und Venus. Bei einigen derſelben bleiben Schweife zurück, welche einen Theil der zurückgelegten Bahn mit einem blaſſen Lichte bezeichnen, aber auch dieſe verſchwinden ſchon nach wenigen Secunden, und dauern nur bei den größten derſelben Minuten lang. Aus correſpondirenden Beobachtungen hat man die Höhe kennen gelernt, in welcher ſie verſchwinden; dieſe wechſelt von 1 — 50 Meilen. Man glaubt aber, daß einige derſelben bis zur Erde herabfallen, und manche hielten die ſchleimigen, gallertartigen Stoffe, welche man an ſolchen Stellen gefunden hat, für Ueberreſte von Sternſchnuppen, wiewohl ſich gegen eine ſolche Annahwe gegründete Einwürfe erheben laſſen.

Die Geſchwindigkeit, mit der die Sternſchnuppen ihre Bahn durchlaufen, iſt bedeutend, und man nimmt an, daß ſie in einer Secunde 4—8 Meilen zurücklegen. Meiſtens gehen ſie abwärts, oft auch horizontal, ja man hat ſogar aufwärts fahrende beobachtet, doch ſcheint letzteres eine bloße Anomalie zu ſeyn, die an der betreffenden Sternſchnuppe durch eine partielle Exploſion nach dem Geſetze der Rückwirkung, wie wir dieſes an Raketen bemerken, bewirkt wird. Die Sternſchnuppen ſind jedem Klima und jeder Gegend eigen, und ihr Erſcheinen iſt von der Witterung ganz unabhängig; aber nicht zu allen Zeiten bemerkt man deren, ſelbſt unter ſonſt günſtigen Umſtänden gleich viele. Am häufigſten hat man ſie nun ſeit mehreren Jahren Mitte Novembers und dann Mitte Auguſts beobachtet. Merkwürdig iſt, daß die meiſten derſelben aus der Gegend des Sternbildes des Löwen zu kommen ſcheinen. Ueber die Natur dieſer merkwürdigen Phänomene iſt man noch keineswegs im Reinen. Der jetzt wahrſcheinlichſten Annahme zu Folge ſind die Sternſchnuppen kleine Maſſen, die im Weltraume mit planetariſcher Geſchwindigkeit nach den Geſetzen der allgemeinen Schwere um die Sonne kreiſen, und wenn ſie in unſere Atmoſphäre kommen, ſich darin entzünden, und ſich dabei entweder ganz verzehren oder in einer oder der anderen Form herabfallen, oder endlich auch, nachdem ſie den in ihrer Bahn liegenden Theil der Atmoſphäre durchwandert haben, wieder ihren Weg um die Sonne fortſetzen. Daß ſie gerade im November und Auguſt in größerer Zahl bemerkbar ſind, mag davon herrühren, daß die Bahnen ſolcher Körper gerade da einander am nächſten liegen (eine Art Milchſtraße bilden), wo ſich die Erde an der erſten Hälfte des November und Auguſt befindet. (Beobachtungen über Sternſchnuppen von Brandes. Leipzig 1825. Pogg. Ann. 29. 447; 31. 159; 33. 189; 36. 315; 38. 550; 39. 353, 415, 461; 41. 175, 48. 582; Zeitſchr. n. F. 2. 11; Schumachers Jahrbuch für 1837, S. 36, für 1838, S 317. Repertorium der Phyſik von Dove 4. 275.)

233. Von ähnlicher, nur der Größe nach verſchiedener Natur ſcheinen die Feuerkugeln, fliegenden Drachen u. dergl. zu ſeyn. Sie erſcheinen oft zugleich mit den Sternſchnuppen, unabhängig von Klima und Wetter, in Geſtalt leuchtender Maſſen in einer ſo bedeutenden Höhe, daß man ſie in weit entfernten Orten zugleich ſehen kann. Sie bewegen ſich in einer gegen den Horizont mehr oder weniger geneigten Bahn mit ſehr großer Geſchwindigkeit abwärts, verſchwinden ohne eine Spur zurückzulaſſen, oder zerſpringen mit großem Getöſe und laſſen eine ſteinartige Maſſe, Meteorſteine, in vielen Stücken, glühend heiß und weich, zur Erde fallen. Die Meteorſteine ſind körnig kryſtalliniſche Maſſen, die meiſtens äußerlich mit einer dunkleren Rinde überzogen ſind. Sie beſtehen ganz aus Eiſen, oder ſind doch von metalliniſchem Eiſen durchſetzt. Die meiſten ſind ſich in der Zuſammenſetzung ihrer Beſtandtheile ſo ähnlich, wie Stücke derſelben Felſenmaſſe. Sie unterſcheiden ſich von den auf der Erde vorkommenden Körpern durch den Reichthum an Talkerde, durch Seltenheit der

Kieſelerde und dem unbedeutenden Gehalt an thonigen und alkaliniſchen Silicaten, beſonders aber durch das Vorkommen des gediegenen Eiſens, das in dieſem Zuſtande auf der Erde nicht gefunden wird, haben aber mit den auf der Erde vorkommenden Mineralkörpern das gemein, daß die einfachen Stoffe und einige Miſchungen derſelben zu mineralogiſchen Arten in beiden auf gleiche Weiſe vereinigt ſind. Ihr ſp. Gewicht beträgt 3,5 — 4,28.

234. Da die Meteorſteine das eigentliche Material der Feuerkugeln ſind, und dieſe, ſo wie die ihnen gleich beſchaffenen Sternſchnuppen, nach dem gegenwärtigen Zuſtande unſerer Kenntniſſe als dem Weltraume angehörige, vielleicht nur zufällig in unſere Atmoſphäre gerathene Körper angeſehen werden müſſen; ſo fallen die Hypotheſen über den atmoſphäriſchen oder lunariſchen Urſprung der Meteorſteine als unhaltbar von ſelbſt weg, und es bleibt nur jene übrig, welche ihnen einen kosmiſchen Urſprung anweiſet. (Fiſcher in den Abhandlungen der Berliner Geſellſchaft 1820, 1821. Chladni über Feuermeteore und über die mit denſelben herabgefallenen Maſſen, mit Steindrucktafeln und deren Erklärung von Schreibers. Wien 1819. Ideler über den Urſprung der Feuerkugeln und des Nordlichtes. Berlin 1832. v. Holger in Zeitſchrift 7. 129, 279; 9. 323. v. Schreibers in Zeitſchr. n. F. 1. 193. Berzelius in Pogg. Ann. 33, 1. 113. Hoff ebend. 36. 161.)

Neuntes Kapitel.

Einiges über Wetteranzeigen.

235. Nicht alle der abgehandelten Meteore ſind für uns von gleicher Wichtigkeit. Die Wärmemeteore, die Winde, die wäſſerigen Niederſchläge, und zum Theile auch die Gewitter ſpielen durch ihren großen Einfluß auf die Vegetation und auf den thieriſchen Haushalt die Hauptrolle; darum beſtimmt auch der Inbegriff derſelben vorzugsweiſe den Charakter des Wetters, und deren Eintreten vorherzuſagen, war von jeher der Gegenſtand vielfacher Bemühungen; aber wir ſind ſelbſt bei dem gegenwärtigen vorgerückten Zuſtande der Phyſik noch ſehr weit vom Ziele entfernt. Die geringen Fortſchritte in dieſem Puncte erklären ſich leicht aus der Schwierigkeit des Gegenſtandes. Findet doch der Aſtronom, welcher es nur mit einer einzigen Kraft, nämlich mit der Gravitation, zu thun hat, wenn er ein Phönomen am Himmel vorherbeſtimmen will, viel Schwierigkeit, ſobald nur mehr als zwei Himmelskörper zur Erzeugung dieſes Phänomens, wenn auch nach demſelben Geſetze zuſammenwirken, und der Meteorolog ſoll Phänomene vorherbeſtimmen, die von ſo vielen Urſachen abhängen, welche ſich überdieß nicht einmal der Größe nach beſtimmen laſſen, und nicht geſtatten, von der Intenſität derſelben an einem Orte auf die an einem anderen zu ſchließen. Ohne Zweifel unterliegt jedes die Wit-

terung conſtituirende Phänomen einer periodiſchen Wiederkehr, und könnte man jedes von allen übrigen iſoliren, ſo würde man das Geſetz der Wiederkehr leicht erkennen. Allein das Zugleichſeyn ſo vieler Erſcheinungen, die, wenn auch jede einzelne eine Periode einhaltend, doch mit ihren verſchiedenen Phaſen auf einander fallen, maskirt die Regelmäßigkeit des Ganzen, und läßt die Witterung, beſonders der gemäßigten Zone, als ungeregeltes Chaos erſcheinen. Der Meteorolog, der ſeine Wiſſenſchaft ernſtlich fördern will, muß daher vor allem dahin arbeiten, die Phänomene zu iſoliren, um das Geſetz jedes einzelnen kennen zu lernen. Die Zuſammenſetzung der Geſetze der einzelnen Erſcheinungen wird dann von ſelbſt das Geſetz des Ganzen als Reſultirende geben, der feſt geſchlungene Knoten der Witterungserſcheinungen wird ſich entwirren, und Wetterprophezeiungen werden nicht mehr ein ſo mißliches Geſchäft ſeyn, wie jetzt, wo man höchſtens nur iſolirte Wetterregeln geben kann.

236. Alle derlei Wetterregeln laſſen ſich füglich in zwei Claſſen bringen. In die erſte zählen wir jene, die ſich nicht bloß durch vielfache Beobachtungen allgemein bewährt haben, ſondern deren Richtigkeit auch aus den anerkannten Naturgeſetzen begreiflich iſt; in die zweite jene, für welche wohl vielfache Erfahrungen ſprechen, die man aber nicht zu erklären vermag, wiewohl ſie mit der Theorie nicht im Widerſpruche ſtehen. Solche, die anerkannten Geſetzen oder ſich ſelbſt widerſprechen, ſollen billig der verdienten Vergeſſenheit überliefert werden.

237. Die ſicherſten Wetterregeln ergeben ſich 1) aus den Luftbewegungen, d. h. aus den Winden und den Oſcillationen des Barometers; 2) aus der Durchſichtigkeit der Luft und der Farbe des Firmamentes; 3) aus dem Ausſehen der Sonne, des Mondes und der Sterne; 4) aus den Wolken; 5) aus der Feuchtigkeit der unteren Atmoſphäre; 6) aus der vorhergehenden Witterung; 7) aus dem Mondesſtande; 8) aus dem Benehmen mancher Thiere und Pflanzen.

238. Es iſt aus dem früher Abgehandelten klar, daß die Winde auf die Wärme und Feuchtigkeit der Luft einen ſehr großen Einfluß nehmen müſſen, weil ſie uns die Luft entfernter Gegenden mit ihrer Temperatur und ihrem Waſſergehalte zuführen. Verbindet man damit noch die Thatſache, daß warme Winde ſtets von oben, kalte aber von unten einbrechen, und daß die Drehung des Windes faſt immer nach einem beſtimmten Drehungsgeſetze vor ſich gehe; ſo wird man ſich den Zuſammenhang zwiſchen den Winden und den Wärme- und Waſſermeteoren leicht erklären können. Die Wärmeerſcheinungen unſerer Gegenden werden vorzugsweiſe durch die zwei einander abwechſelnd verdrängenden Luftſtröme, den Polar- und Aequatorialſtrom bedingt, und das längere Verharren in einem und demſelben Strome gibt der Witterung den regelmäßigen Charakter, öfteres Wechſeln aber erzeugt Extreme, wie ſie oft bemerkt werden. Ein dauerndes Befinden im N. Strome bringt kalte Winter und trockene und

warme Sommer, ein anhaltendes Verharren des S. Stromes aber naſſe und kühle Sommer und milde Winter. Wechſelt der Strom beim Eintritte des Winters, ſo folgt auf einen heißen Sommer ein milder Winter oder auf einen kühlen Sommer ein ſtrenger Winter. Wenn aber ein großer Theil von Europa ſich im N. Strome befindet, ſo muß ſich Aſien oder Amerika im S. Strome befinden und umgekehrt, daher es denn auch kommt, daß milde Winter bei uns mit ungewöhnlich ſtrengen in Amerika oder Aſien gleichzeitig ſind, wie dieſes in den Jahren 1821 — 1822 und 1834 — 1835 der Fall war, wo das Thermometer während der entſchiedenſten Wintermonate kaum 10 Tage hinter einander unter 0° ſtand, während in Amerika ſelbſt in einer Breite von Mailand das Queckſilber fror. Der durch den Südſtrom unterhaltene milde Winter einer Gegend unterſtützt die erwärmende Wirkung der Sonne im Frühlinge, während dieſe Wirkung dort, wo ein ſtrenger Winter herrſcht, durch die zum Schmelzen des Eiſes nöthige Wärmebildung nicht Statt hat; die Wärmedifferenz beider Gegenden wird dadurch geſteigert, der Druck der Luft in der kalten Gegend vermehrt, und endlich dahin gebracht, daß der N. Strom den S. Strom überwältigt, und ſich über die Gegenden ergießt, welche im Genuſſe eines milden Winters und eines ſchönen Frühlingsanfanges ſind. Daher kommt es, daß oft auf milde Winter ein kalter Frühling folgt und den gemeinen Mann auf die Meinung bringt, es müſſe ſich die Natur eines gewiſſen Maßes von Kälte im Laufe eines Jahres entledigen.

239. Das **Barometer** wird mit Recht als einer der zuverläßigſten Wetterpropheten angeſehen: denn man kann faſt immer mit Sicherheit von ſtarken Veränderungen im Barometerſtande auf Aenderungen im Charakter der Witterung ſchließen. Gewöhnlich geht man aber noch weiter, und betrachtet das Fallen des Barometers als Vorzeichen einer ſchlechten, das Steigen deſſelben als Vorzeichen einer günſtigen Witterung. Ungewöhnlich ſtarkes und ſchnelles Fallen des Barometers muß mit ſtarken Störungen des Gleichgewichtes verbunden ſeyn, und wird darum mit Recht als Zeichen eines bevorſtehenden oder ſchon in mehr oder weniger weit entfernten Orten herrſchenden Sturmes angeſehen. Darum pflegen Seeleute das Barometer fleißig zu beobachten, um aus deſſen Stande abnehmen zu können, ob es etwa Zeit ſey, ſich auf einen bevorſtehenden Sturm vorzubereiten. Da der Uebergang der Waſſerdünſte in tropfbaren Zuſtand eine Verminderung des Luftdruckes erzeugen muß, weil wohl die Dünſte, nicht aber die Waſſertropfen, den Druck der Atmoſphäre vermehren helfen; ſo muß auch wohl in der Regel ein Sinken des Barometers ſchlechtes, ein Steigen gutes Wetter erwarten laſſen, jedoch wird die Erwartung nicht ſelten getäuſcht, weil feuchte Luft nicht immer ſo weit gebracht wird, daß ihr Dunſtgehalt in Waſſer übergeht, und auch bei eintretender Kälte, die mit einem Steigen des Barometers verbunden iſt, die ſchon vorhandenen Dünſte ausgeſchieden werden können. Nach v. **Buch** unterbleiben Waſſerniederſchläge nicht, ſobald das Barome-

ter bei irgend einem Winde unter die dieſem Winde entſprechende mittlere Höhe herabgeſunken iſt. Da auf öſtliche Winde meiſtens ſüdliche folgen, und durch Abkühlung der letzteren wäſſerige Niederſchläge und zugleich ein Sinken des Barometers bewirkt werden; ſo muß bei ihnen das Barometer vor oder während des Regens fallen. Auf der Weſtſeite erfolgt aber das Gegentheil; denn weil ein weſtlicher Wind in der Regel in einen nördlichen umſchlägt, wodurch Regen und zugleich ein Steigen des Barometers bewirkt wird, ſo muß bei bei ſolchen Winden das Barometer während oder vor dem Regen ſteigen.

240. Die Durchſichtigkeit und Farbe der Luft (des Firmamentes) hängt bekanntlich von der Menge und dem Aggregationszuſtande des in der Luft enthaltenen Waſſers ab, und daher kann man von jener auf dieſe und auf die leicht ſich daraus ergebenden Folgen ſchließen. So lange das Waſſer im vollkommen expanſiblen Zuſtande in der Luft ſchwebt, macht es dieſelbe deſto durchſichtiger, in je größerer Menge es darin vorkommt. Daher ſieht man die aus der großen Durchſichtigkeit der Luft ſich ergebende, ſcheinbare Nähe ferner Gegenſtände, das ſchwarze Ausſehen von Wäldern ꝛc. als Zeichen der überhand nehmenden Luftfeuchtigkeit an. Von dieſer großen Durchſichtigkeit der Luft mag auch die ſtärker erwärmende Kraft der Sonne herrühren, und darin der Grund liegen, warum man das Stechen der Sonne als Vorzeichen einer Wetteränderung anſieht. Ungewöhnliche Heiterkeit des nächtlichen Himmels, durch welche ſelbſt die kleineren Sterne ſichtbar werden, hat dieſelbe Bedeutung; ein ſanfter Schleier über ferne Berge läßt aus gleichem Grunde ein Fortdauern der günſtigen Witterung hoffen. Das Erblaſſen des Firmamentes deutet den Anfang des Uebergangs der Dünſte in kleine Tröpfchen an, und iſt darum ein Vorbote wäſſeriger Niederſchläge. Es wird meiſtens durch den in oberen Regionen ſchon eingetretenen Südwind verurſacht.

241. Schon die Alten haben das Ausſehen der Sonne, des Mondes und der Sterne, beſonders beim Auf- und Untergange, zum Behufe der Meteoromantie benützt, und man ſieht leicht ein, daß dieſes mit Grund geſchah, indem man daraus auf den Feuchtigkeitszuſtand der Luft und daher auch auf die damit zuſammenhängenden Phänomene ſchließen kann. Geht die Sonne, der Mond, oder ein Stern früher auf als gewöhnlich, ſo herrſcht eine ſtarke Strahlenbrechung und die Luft enthält viel Dünſte; dasſelbe iſt der Fall, wenn die Scheibe des Mondes oder der Sonne beim Aufgehen ungewöhnlich groß oder oval erſcheint. Eine verticale Nebenſonne oder ein Nebenmond hat eine ähnliche Vorbedeutung. Gehen die Geſtirne, beſonders aber die Sonne blaß, roth oder gar unter Wolken auf, ſo mag der übrige Himmel wie immer rein ſeyn, es iſt doch ein baldiger wäſſeriger Niederſchlag zu beſorgen, weil ſchon ein ſüdlicher (ſüdöſtlicher), viele Dünſte mit ſich führender Wind im Anzuge iſt. Ja ſelbſt wenn directer Oſtwind herrſcht, ſo zeigen doch die ſchon an der Oſtſeite vorhandenen hohen Wolken an, daß der in der Regel ihn ablöſende ſüd-

liche Wind dieſe Wolken in Regenwolken verwandeln werde. Darum geht ein ſolcher Sonnenaufgang nicht ſelten der Witterungsänderung um 2—3 Tage voraus. Trüber Sonnenuntergang zeigt eine Anhäufung der Dünſte am weſtlichen Himmel, und da im mittleren Europa die weſtlichen Winde die herrſchenden ſind, die Wahrſcheinlichkeit, daß dieſes Uebermaß auch bald unſeren Scheitel erreichen wird. Starkes Funkeln der Sterne, ungewöhnliche Größe derſelben, Höfe um ſie, um die Sonne und den Mond müſſen, ihrer Natur nach, naſſe Witterung befürchten laſſen, und zwar letzteres um ſo mehr, je größer ſie ſind, weil die Größe der Höfe einen Beweis für ihre geringe Entfernung abgibt.

242. Ein faſt immer ſicheres Vorzeichen der bevorſtehenden Witterung gibt die Geſtalt, Lage und Veränderung der Wolken ab. Lange Federwolken verkünden Wind aus der Gegend, wohin ihre Spitzen zeigen; dasſelbe gilt von gedrängten, gehäuften Federwolken. Geſchichtete Federwolken, beſonders am weſtlichen Himmel, drohen mit anhaltendem ſanften Landregen. Wenn Haufenwolken früh entſtehen, bis Mittag ſich anhäufen und Nachmittag wieder abnehmen, dauert ſchönes Wetter fort; ſobald ſie aber der Nachmittag nicht mehr zu überwältigen vermag, und der nächtliche Himmel noch mehrere derſelben antrifft, gehen ſie in die geſchichtete Haufenwolke über und bringen Regen. Die iſolirt am Himmel ſchwebende Haufenwolke iſt überhaupt ein günſtiges Wetterzeichen, weil ſie das Uebergewicht der von der Erde aufſteigenden, warmen Luftſtröme über den Einfluß der Winde beweiſet; darum ſind ſolche Wolken bei uns im Winter, in den Polargegenden aber immer eine Seltenheit. Regenwolken laſſen wenig befürchten, wenn ſie am öſtlichen Himmel ſchweben, deſto mehr aber, wenn ſie an der Weſtſeite ſtehen, weil ſie im erſten Falle bei dem entſchiedenen Uebergewichte der weſtlichen Winde von uns hinweg-, im zweiten aber zu uns herbeigeführt werden. Darum iſt auch ein Regenbogen am Abende (öſtliche Regenwolken) ein gutes, am Morgen ein ſchlechtes Vorzeichen. Tief ſchwebende Wolken ſind entweder ſehr dicht und daher ihrer Zerſetzung ſehr nahe, oder ſie ſetzen eine große Feuchtigkeit der Luft voraus; ſie ſind daher immer von übler Vorbedeutung, beſonders wenn ſie ſich in der Richtung befinden, von woher die herrſchenden Winde blaſen. Darum befürchtet man ſchlechtes Wetter, wenn die Gipfel der Berge von Wolken eingehüllt erſcheinen, und hofft nicht eher auf Rückkehr eines beſſeren, als bis ſich die Berge an der Regenſeite wieder unbewölkt zeigen; darum dienen gewiſſe Berge, wie z. B. der Zopten in Schleſien und die nordweſtliche Gebirgskette um Wien, als Wetteranzeiger. Das Waſſerziehen der Sonne ſetzt ſehr tief ſchwebende feine Wolken voraus, und iſt darum ein Regenzeichen.

243. Ungewöhnlich große Feuchtigkeit oder Trockenheit der Luft in den unteren Regionen läßt auf naſſe oder trockene Witterung für die Zukunft ſchließen. Darum ſind Hygrometerbeobachtungen ſelbſt in dieſer Beziehung nützlich. Wenn der Thaupunkt des Schwefelätherhygrometers bei Sonnenuntergang über dem Eispuncte liegt,

hat man ſelbſt bei heiteren Nächten in der Regel keinen Reif zu beſorgen, weil ohne Nebelbildung oder Wind die Erkältung nicht unter dieſen Punct fortſchreitet, und bei eintretendem Nebel oder Wind faſt nie ein Reif ſich bilden kann. Alles, was auf große Luftfeuchtigkeit ſchließen läßt, verkündet naſſe Witterung. Darum iſt das Rauchen der Wälder, das Niederſchlagen des Rauches, das Stinken von Senkgruben, das Beſchlagen der Mauern und Steine, das Nachlaſſen ſteifer Papiere, das Zerfließen der Salze, das ſtarke Riechen des in der Luft liegenden Chlorkalkes, der ungewöhnlich weiche Ton geleimter muſikaliſcher Inſtrumente, der ungewöhnlich helle Ton ferner Glocken ꝛc., oft von übler Vorbedeutung.

244. Plötzliche Aenderung in der Stärke und im Zeichen der Luftelektricität führt in der Regel eine Aenderung im Charakter der Witterung mit ſich. Das Verſchwinden der Luftelektricität deutet auf bevorſtehenden Wind, nicht ſelten auf wäſſerige Niederſchläge.

245. Der größte Theil der Wetterregeln, auf welche der gemeine Mann einen ſo großen Werth ſetzt, und die ſogar zum Sprichworte geworden ſind, bezieht ſich auf den Zuſammenhang der Meteore und ihre periodiſche Wiederkehr, und es wird dabei ſtets von der Witterung der Gegenwart auf die Zukunft geſchloſſen. Viele dieſer Regeln ſtehen unter ſich im Widerſpruche, andere ſetzen einen Zuſammenhang zwiſchen Dingen voraus, die von einander unabhängig ſind, andere haben allerdings Grund und ſind allein einer näheren Erwähnung werth. Dem jährlichen Gange der Wärme gemäß ſteht der Winter mit dem Frühlinge mittelſt eines Nachwinters, der Sommer mit dem Herbſte mittelſt eines Nachſommers in Verbindung. Weder der Nachſommer noch der Nachwinter tritt immer zur ſelben Zeit ein, doch unterbleibt in der Regel keiner von beiden. Man ſieht es als ein günſtiges Ereigniß an, wenn der Nachwinter ſchnell auf den eigentlichen Winter folgt, weil dann die Luftwärme zeitlich genug den zum Keimen der Samen nöthigen Grad erreicht. Darauf beruht es, daß man trockenen März ſo hoch anſetzt (Märzſtaub iſt goldeswerth), ſchöne Witterung im Februar ungern ſieht ꝛc. Im ſüdlichen Deutſchland äußern die tropiſchen Regen der heißen Zone ihren Einfluß durch häufige Waſſerniederſchläge. Wenn dieſe eintreten, ſo beginnen ſie im Anfange Juni, und darum hält der Landmann einen Landregen in dieſer Zeit für ein Vorzeichen eines naſſen Sommers. Ein naſſer Frühling und Sommer läßt einen trockenen Herbſt, viel Schnee im Winter einen trockenen Sommer hoffen, weil wir uns unter dieſen Umſtänden während des Frühlings und Sommers oder während des Herbſtes im Südſtrome befinden, und daher bei einem Wechſel in den Nordſtrom kommen. Morgenregen gelten faſt allgemein als ſchnell vorübergehend, weil die faſt immer herrſchenden Weſtwinde die Regenwolken vertreiben und die Tageswärme die Wolken verdünnt; Abendregen hingegen werden als anhaltend angeſehen, weil ſie durch die nächtliche Kühle noch mehr verſtärkt werden. Dauert nach einem Regen die Wärme fort, ſo bleibt der Südwind herrſchend, und wir haben eine Wiederholung

eines Waſſerniederſchlages zu befürchten. Eben darum folgt auf ein Gewitter faſt immer ein zweites, wenn nicht auf das erſte eine erquickende Kühle eintritt. Zu reichlicher Thau läßt auf viele Luftfeuchtigkeit ſchließen, das gänzliche Ausbleiben des Thaues iſt ein Zeichen von herrſchenden Winden oder von zu trüber Luft, und deutet auf baldigen Regen.

246. Mehrere Beobachter wollen auch einen Zuſammenhang zwiſchen der Witterung und dem Mondesſtande beobachtet haben, und zwar hat Schübler gezeigt, daß ſich dieſer Einfluß des Mondes auf die Regenmenge, Windesrichtung, den Barometerſtand und die Witterungsveränderung beziehe. Kreil hat dargethan, daß es einen Zuſammenhang zwiſchen dem Mondesſtande, dem Luftdrucke, der Lufttemperatur und der Heiterkeit des Himmels gebe. Schüblers Unterſuchungen lehren, daß es am Tage des letzten Viertels am wenigſten regne, und daß die Regenmenge allmälig wachſe, am Tage, wo der Mond im zweiten Octanten ſteht, das Maximum erreiche, und von da an wieder abnehme. Vom Neumonde bis zum zweiten Octanten werden in Deutſchland die Süd- und Weſtwinde, um das letzte Viertel hingegen die Oſt- und Nordwinde häufiger; im letzten Viertel ſteht im Durchſchnitte das Barometer am höchſten, im zweiten Octanten am niedrigſten. Es ändert ſich die Witterung am öfteſten, wenn ſich der Mond in der Erdnähe befindet, ſeine Kraft, das Wetter zu ändern, nimmt ab in folgender Ordnung: Neumond nach der Erdnähe, Vollmond, Erdferne, die Quadraturen (Viertel), die Aequinoctien, die Luniſtitien. Ueber den von Kreil conſtatirten Einfluß des Mondes auf den Luftdruck war ſchon früher (840) die Rede. Bezüglich des von ihm zuerſt bemerkten Zuſammenhanges zwiſchen dem Mondesſtande und der Lufttemperatur hat ſich ergeben, daß dieſe Einwirkung des Mondes im Winter viel größer ſey als im Sommer, und in erſterer Jahreszeit 0°,4, in letzterer 0°,25, im Durchſchnitte aber 0°,2 R. betrage. Im Sommer fängt die Temperatur zu ſinken an, ſobald der Mond den Meridian überſchritten hat, erreicht beim Untergange deſſelben das Minimum, ſteigt dann wieder bis zur unteren Culmination und behält ihre Höhe unverändert bei, während der Mond öſtlich von dem Meridian ſteht. Im Winter wächſt die Temperatur regelmäßig, während der Mond von der unteren Culmination zur oberen, und ſinkt eben ſo, während er von der oberen Culmination zur unteren übergeht.. Die erwärmende Wirkung des Mondes hält nicht mit ſeiner beleuchtenden Kraft gleichen Schritt, ja es gehen dieſe beiden Wirkungen im Sommer zur Zeit des Vollmondes gerade in entgegengeſetzter Richtung vor ſich. Auch auf die Heiterkeit des Himmels hat der Mond Einfluß, und zwar hat dieſer eine auffallende Aehnlichkeit mit der Einwirkung des Mondes auf den Luftdruck, indem dem höchſten vom Monde abhängigen Barometerſtande der größte, und dem tiefſten der geringſte Grad der Heiterkeit entſpricht, nur ſind beim Luftdruck die Wendeſtunden etwas weiter von einander entfernt, als bei den Graden der Heiterkeit. Indeß können derlei Unterſuchungen, welche

eine ſo große Anzahl von guten Beobachtungen und eine höchſt zweckmäßige Benützung derſelben vorausſetzen, für noch nicht geſchloſſen angeſehen werden.

Nach Toaldo verhält ſich die Wahrſcheinlichkeit, daß ſich das Wetter ändern wird, zu der des Gegentheils bei der Erdnähe des Mondes wie 6 : 1, beim Neumonde nahe wie 6 : 1, beim Vollmonde wie 5 : 1, bei der Erdferne wie 4 : 1, bei den Vierteln nahe wie 2 : 1, bei den Aequinoctien wie 2 : 1. (*Essai météorologique. Chambery* 1784. 131.) Nach Schübler verhält ſich die Wirkſamkeit des Mondes, die Witterung zu ändern, beim Vollmonde und letzten Viertel wie 1000 : 823, in der Erdnähe und Erdferne wie 1000 : 588. (Ueber den Einfluß des Mondes auf die Aenderungen der Atm. v. Schübler. Leipzig 1830. Kaſt. Arch. für Chemie und Meteor. 4. 13., 161. Eiſenlohr in Pogg. Ann. 30. 72; 35. 141 und 309. Mädler in Schumachers Jahrb. für 1840. S. 252; Kreil's aſtron. meteor. Jahrbuch 1. Jahrg.)

247. Daß viele Thiere die bevorſtehende Witterung durch ihr Benehmen anzeigen, iſt bekannt. Es erklärt ſich dieſes zum Theile aus dem geübteren Empfindungsvermögen dieſer ſtets im Freien lebenden Weſen, theils aus dem Umſtande, daß ſie ihre Nahrung bei bevorſtehender Wetteränderung an einigen Orten leichter finden als an anderen. So z. B. fliegen Schwalben bei drohendem Regen ſehr niedrig, weil ſie in der Nähe des Bodens die Inſecten, welche ſtets die trockenſte und wärmſte Luft ſuchen und ihnen zur Nahrung dienen, am leichteſten antreffen; Fiſche tauchen aus demſelben Grunde öfter auf, und haſchen die über dem Waſſer ſchwebenden Inſecten; Möven ſammeln ſich vor einem Sturme am Meeresufer, um der ausgeworfenen Fiſche habhaft zu werden. Das Ankommen der Zugvögel gilt meiſtens als Zeichen der nahen Frühlingswärme, weil dieſe Thiere der warmen, oberen Luft nachziehen, und ſich erwarten läßt, dieſe werde ſich auch bald ſenken und die untere Luft erwärmen. Eben ſo ſieht man das Wegziehen derſelben als Zeichen der bevorſtehenden Wärmeabnahme an, weil die in den nördlichen Gegenden wohnenden Thiere ihren Aufenthaltsort alſogleich verlaſſen, ſobald kalte Luft herrſchend wird, und durch ihr Ziehen in ſüdlichere Gegenden auch die daſelbſt wohnenden ans Fortziehen erinnern ꝛc.

248. Oft geſchieht es, daß zu gleicher Zeit entgegengeſetzte Wetterzeichen eintreten und den Beobachter in Zweifel ſetzen, welchem von ihnen er mehr trauen ſoll. In einem ſolchen Falle läßt ſich nur dann eine gegründete Vermuthung wagen, wenn eines dieſer Zeichen über die anderen von entſchiedenem Uebergewichte iſt; allein ſelbſt im Falle eines einzigen Vorzeichens darf man das, was die vorhergehenden Regeln angeben, nur für Wahrſcheinlichkeit halten.

(Pilgram über das Wahrſcheinliche der Witterungskunde. Wien 1788. Neue Ideen über die Meteorologie von de Luc. 1787. Lehrbuch der phyſiſchen Aſtronomie, Theorie der Erde und Meteorologie von J. T. Mayer. Göttingen 1805. Syſtematiſcher Grundriß der Atmoſphärologie von Lampadius. Freiberg 1806. Handbuch der Naturlehre von Schmidt. Zweite Abtheilung. Gießen 1813.

Die Witterungskunde in ihrer Grundlage von Schön. Würzburg 1818. Anfangsgründe der Naturlehre von Muncke. 2. Abtheilung. Heidelberg 1820. Deſſelben Handbuch der Naturlehre. 2. Thl. Heidelberg 1830. Handbuch der Meteorologie von Kaſtner. Erlangen 1823. *Meteorological essays and observations by I. Daniell. London* 1833. Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie. 3. Bd. Halle 1831 und 1832. Deſſen Vorleſungen über Meteorologie. Halle 1840. Die Atmoſphäre und ihre vorzüglichſten Erſcheinungen von Dr. J. F. Günther. Frankf. am Main 1835. Meteorologiſche Unterſuchungen von H. W. Dove. Berlin 1837. Abriß einer Geſchichte der neueren Fortſchritte und des gegenwärtigen Zuſtandes der Meteorologie von J. Forbes, überſetzt und ergänzt von Mahlmann. Berlin 1836.)

Zuſätze zum dritten Kapitel der Elektricitätslehre.

I. Eine der wichtigſten Verbeſſerungen, welche die Volta'ſche Batterie in neueſter Zeit erfahren hat, iſt ohne Zweifel die conſtante Kette (ſ. S. 423) und zwar Grove's Einrichtung derſelben, nämlich Platin und Zink jedes Elementes durch eine poröſe Thonzelle getrennt, erſteres Metall mit concentrirter Salpeterſäure umgeben in der Zelle, während das amalgamirte Zink außerhalb der Zelle in verdünnter Schwefelſäure ſteht. Das theure Platin läßt ſich hier mit Vortheil durch Kohle erſetzen, beſonders durch die nach Bunſen's Vorſchrift zubereitete, jedoch mit Beibehaltung der poröſen Thonzelle, da es ſchwierig iſt, der Kohle ſelbſt eine ſolche paſſende Conſiſtenz zu geben, daß ſie dem Erfolge unbeſchadet zugleich die Rolle des Diaphragma's übernehmen kann. Treffliche Winke über dieſen Gegenſtand findet man in Pogg. Ann. 54, 417 und 55, 265. Gleichwie in Daniell's conſtanter Batterie das durch Zerlegung des Waſſers in Freiheit tretende Hydrogen zur Reduction des aus dem Kupfervitriol ausgeſchiedenen Kupferoxydes verwendet wird (ſ. S. 464); eben ſo entzieht dieſes Hydrogen in der Zink-Platin- oder in der Zink-Kohlenkette der Salpeterſäure einen Antheil Sauerſtoff, wobei ſich ſalpetrige Säure bildet (ſ. S. 456), welche zum Theil aus der Flüſſigkeit entweicht, und derlei Experimente in mehrfacher Beziehung ſehr läſtig macht. Es läßt ſich aber (ſ. Warington in (Phil. Mag. 20, 393) mit noch ſehr anſehnlichem Effecte, beſonders bei der Zink-Kohlenbatterie, ſtatt der Salpeterſäure ein Gemenge einer concentrirten Löſung doppelt chromſauren Kali's mit engliſcher Schwefelſäure gebrauchen. Man nimmt 4 Gewichtstheile concentrirter Schwefelſäure auf 3 Theile doppelt chromſaures Kali. Das Salz, welches im Handel leicht zu haben iſt, löſet ſich in dem zehnfachen Gewichte Waſſer von gewöhnlicher Temperatur. Das Zink wird, wie in der Grove'ſchen Combination in verdünnte Schwefelſäure geſetzt. Hier entzieht das Hydrogen dem einen Miſchungsgewichte Chromſäure den Sauerſtoff, und es bildet ſich Chromalaun. Es findet daher, wie bei dem Gebrauche der Daniell'ſchen Combination, durchaus keine Entwickelung von Gaſen oder Dämpfen Statt, aber die Wirkung iſt, wie unſere eigenen Verſuche gezeigt haben, bei weitem kräftiger, ſo daß man ſich der Anwendung der Salpeterſäure völlig entſchlagen kann. Zur Rechtfertigung des oben angegebenen Miſchungsverhältniſſes der Salzlöſung mit Schwefelſäure dient Folgendes: Die Zuſammenſetzung des doppelt chromſauren Kali's iſt $KO + 2\,CrO_3$, die des Chromalauns ohne Berückſichtigung des Waſſergehaltes, welcher 24 Atome beträgt aber $(KO + SO_3) + (Cr_2O_3 + 3\,SO_3)$ oder $KO + Cr_2O_3 + 4\,SO_3$. Für $H_2 = 1$ hat man $K = 39$, $Cr = 28$, $S = 16$, $O = 8$, mithin $KO + 2\,CrO_3 = 151$ und $4\,(SO_3 + H_2O) = 196$. Es iſt aber $151 : 196$ nahe wie $150 : 200 = 3 : 4$.

II. Aus dem Theilungsgeſetze eines elektriſchen Stromes (S. 430) fließen mehrere wichtige Folgerungen, wovon wir einige hier beifügen:

1. Es ſey NP (Fig. 309) eine durch den Leiter AB geſchloſſene galvaniſche Kette. An dieſen Leiter ſeyen in H und K die Enden eines zweiten Leitungsdrahtes, welchen wir mit einem Multiplikatorgewinde m verbunden denken, eingefügt. Bezeichnen wir die elektromotoriſche Kraft der Kette durch E, die reducirte Länge der Kette ſammt den Theilen PAH und NBK des Schließungsdrahtes durch L, die reducirte Länge des Stückes HK durch z, die des Seitendrahtes nebſt Multiplikatorgewinde durch m, endlich die Stromſtärke in KBNPAH durch p, und jene in dem Seitendrahte und Multiplikatorgewinde durch p', ſo haben wir nach 122 S. 430

$$p = \frac{E}{L + \lambda} \text{ und } p' = p \cdot \frac{\lambda}{m}$$

wobei $$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{m} + \frac{1}{z} = \frac{z + m}{m z}$$

mithin $$\lambda = \frac{m z}{z + m}$$ iſt. Hiernach wird

$$p = \frac{E(z + m)}{L(z + m) + m z} \text{ und } p' = \frac{E z}{L(z + m) + m z}$$

Iſt z gegen m ſehr klein, wie es ſich ereignet, wenn für HK ein kurzer dicker Draht oder ſtarker Metallſtreifen genommen wird, und das Multiplikatorgewinde aus vielen Lagen eines dünnen Drahtes beſteht, oder wenigſtens demſelben ein langer Draht zugeſetzt wird, ſo kann man ohne merklichen Fehler

$$p' = \frac{E z}{m(L + z)}$$

ſetzen, und iſt überdieß der Widerſtand in der Kette NP ſehr bedeutend, was bei einer Säule aus einer größeren Anzahl Elemente Statt findet, ſo hat man $p' = \frac{E}{L} \cdot \frac{z}{m}$. Unter den genannten Umſtänden iſt alſo die Stromſtärke in dem Seitendrahte dem Quotienten $\frac{E}{L}$ und der Größe z direct proportionirt. Hiernach ergibt ſich ein einfaches Mittel zur Interpretation der Anzeigen eines Multiplikators nach Stromſtärken; man hat dazu bei Anwendung einer conſtanten galvaniſchen Kette von großem Widerſtande bloß dem Zwiſchenſtücke z verſchiedene Längen zu geben und die entſprechenden Indicationen des Multiplikators zu beobachten. Eben ſo leicht laſſen ſich die Werthe von $\frac{E}{L}$ für verſchiedene galvaniſche Ketten von großem Widerſtande vergleichen; ſie verhalten ſich verkehrt wie die Werthe von z bei einerlei Ausſchlag der Galvanometernadel. (Vergl. Petrina in Holger's Zeitſchrift 6, 165 u. 242.) Der Bruch $\frac{E}{L}$ bedeutet die Stromſtärke einer

galvaniſchen Kette, wenn ſelbe ohne Einſchaltung eines fremden Widerſtandes geſchloſſen wird, d. h. das Maximum ihrer Stromſtärke bei dem ſtets in ihr vorhandenen Widerſtande.

2. Es ſeyen zwei galvaniſche Ketten PN und P′N′ (Fig. 310) durch einen gemeinſchaftlichen Schließungsleiter AB mit einander verbunden, und die in jeder derſelben wie auch im Drahte AB herrſchenden Stromſtärken zu beſtimmen. Man nenne die elektromotoriſchen Kräfte dieſer Ketten E und E′; ihre reducirten Längen, die bis zu A und B gehenden Polardrähte mitgerechnet, L und L′; die reducirte Länge von AB ſelbſt L″; die Stromſtärken, welche in NP, N′P′ und AB Statt haben würden, wenn NP allein thätig wäre p, p', p''; dieſe Stromſtärken wenn N′P′ allein thätig wäre p_1, p_1', p_1'', und die bei der gleichzeitigen Thätigkeit beider Ketten darin obwaltenden Stromſtärken P, P′, P″: ſo iſt, in ſo fern gleichnamige Pole der Ketten direct mit A und die anderen Pole mit B verbunden ſind, d. h. in ſo fern die Ströme der Ketten in übereinſtimmendem Sinne gehen,

$$P = p - p_1,\quad P' = p_1' - p',\quad P'' = p'' + p_1''$$

ferner findet man auf dem in I. betretenen Wege, wenn man zur Abkürzung $LL' + L'L'' + L''L = S$ ſetzt:

$$p = \frac{E(L'+L'')}{S},\quad p' = \frac{EL''}{S},\quad p'' = \frac{EL'}{S}$$

$$p_1' = \frac{E'(L+L)}{S},\quad p_1 = \frac{E'L''}{S},\quad p_1'' = \frac{E'L}{S}$$

folglich $P = \frac{E(L+L)-E'L''}{S}$, $P' = \frac{E'(L+L'')-EL''}{S}$, $P'' = \frac{EL'+E'L}{S}$

Sind die Ketten NP, N′P′ ungleichnamig verbunden, ſo ſind die Zeichen von p_1, p'_1, p''_1, oder was zu demſelben Reſultate führt, es iſt das Zeichen von E′ zu ändern. Auf demſelben Wege gelangt man auch zu den Formeln für die Ströme, wenn mehr als zwei Ketten mit einander verbunden ſind.

3. Einen Fall gleichnamiger Verbindung zweier Ketten ſtellt die Fig. 311, einen Fall ungleichnamiger Verbindung die Fig. 312 vor, welche ſich beiſpielweiſe auf die Combination einer Zinkkupferkette mit einer Zinkplatinkette bezieht. Hier vertritt der mit b bezeichnete Draht die Stelle des Schließungsleiters AB in Fig. 310. Mißt man die in dieſem Drahte mit Einſchluß eines Galvanometers obwaltenden Stromſtärken P″ und P″, in beiden Fällen, ſo hat man, mit Beibehaltung der obigen Bezeichnungen

$$P'' = \frac{EL'+E'L}{S},\quad P''_1 = \frac{EL'-E'L}{S}$$

woraus $$P''+P''_1 = \frac{2EL'}{S},\quad P''-P''_1 = \frac{2E'L}{S}$$

mithin $$\frac{P''+P''_1}{P''-P''_1} = \frac{EL'}{E'L} = \frac{E}{L} : \frac{E'}{L'}$$ folgt. Man hat

hiedurch wieder ein, und zwar ſcharfes Mittel das Verhältniß der Strommaxima zweier galvaniſchen Ketten zu beſtimmen.

4. Durch Abänderung des Verhältniſſes von L'' zu L kann man es leicht dahin bringen, daß P' verſchwindet, was mittelſt eines eingeſchalteten Galvanometers erkannt wird. In dieſem Falle iſt $E'(L+L'') = EL''$, mithin

$$P = \frac{EL' + E'L}{S} = P'' \text{ oder wegen } E' = \frac{EL''}{L+L''}$$

$$P'' = \frac{E}{S} \cdot \frac{LL' + L'L'' + L''L}{L+L''} = \frac{E}{L+L''} \text{ daher } E' = P''L''.$$

Dieß gibt ein leichtes Mittel an die Hand, die elektromotoriſche Kraft einer beliebigen Kette zu finden, wenn man ſelbe mit einer andern Kette combinirt, und es kann hier ſogar die zu unterſuchende Kette eine inconſtante ſeyn, wofern ſie nur mit einer conſtanten Kette combinirt wird.

Ueber dieſe Gegenſtände ſ. Pogg. Ann. 54, 161; 55, 43, 158, 511.

Verbeſſerungen.

Seite 111, Z. 27, ſtatt »Vereinigung« l. »Verlängerung.«
» 143, » 24, ſtatt »Es ſey« l. »Es ſey (Fig. 56).«
» 191, » 11, v. u. ſtatt »d_1, d_1 ...« l. d_1, d_2 ...«
» 198, » 6, ſtatt »b« l. »d.«
» 200, » 15, ſtatt »$S + P = Q$« l. »$S = P + Q$.«
» 238, » 10, v. u. ſtatt »E D H« l. »E C H.«
» 239, » 20, v. u. ſtatt »B C D gleich groß« l. »B C E gleich groß.«
» 248, » 9, ſtatt »ihrer« l. »ihre.«
» 357, » 17, ſtatt »ein anderer« l. »im anderen.«
» 358, » 13, ſtatt »$\frac{ef}{n'f}$« l. »$\frac{ef}{n'e}$«.
» 380, » 8, v. u. ſtatt »Holzſtange« l. »Harzſtange.«
» 433, » 7, ſtatt «$\sqrt{\frac{fl}{\lambda}}$« l. »$\sqrt{\frac{fl}{h}}$.«
» 447, » 11, v. u. ſtatt »von der Rechten gegen die Linke« l. »von der Linken gegen die Rechte.«
» 451, » 15, ſtatt »a h c b« l. »a d c b.«
» 467, » 6, v. u. ſtatt »590, 590« l. »390, 590.«
» 473, » 27, ſtatt »elektro-magnetiſche« l. »elektromotoriſche.«
» 546, » 9, v. u. ſtatt »A B« l. »M N«
» 547, » 16, v. u. ſtatt »Hauptſtrahles A B« l. »Hauptſtrahles A C.«
» 550, » 2, v. u. ſtatt »S A« l. »A B.«
» 552, » 6, ſtatt »n . a h« l. »n . a v.«
» 563, » 13 und 14, ſtatt »C′S′« l. »C S′.«
» 569, » 14, ſtatt »$\cos \beta$« l. »$\cos \alpha$.«
» 575, » 20, ſtatt »A B C D« l. »A B D C.«
» 576, » 2, ſtatt »H S′« l. »H S.«
» 604, » 2, v. u. ſtatt »Fig. 336« l. »Fig. 335, b.«
» 720, » 28, ſtatt »Blache« l. »Bache.«
» 827, » 26, ſtatt »Fig. 392« l. »Fig. 393, a.«
» 828, » 16, ſtatt »Fig. 393« l. »Fig. 393, b.«

Regiſter.

(Die Zahlen bedeuten die Seite.)

A.

Abdrehen 132.
Abend (Weſt) 736.
Abendröthe 865.
Aberration 756.
Abfall 795.
Ablenkungsſtab, magnetiſcher 369.
Abplattuug der Erde 746.
Abſidenlinie 750.
Abſorption der Gaſe 202, des Lichtes 613, der Wärme 675.
Abſtoßung bei Flüſſigkeiten 157, der Wärme 692, elektriſche 383, magnetiſche 338.
Abweichung, magnetiſche 337, deren Beſtimmung 351, Geſetze 372, des Lichtes ſphäriſche 562, chromatiſche 565, aſtronomiſche 741.
Abweichungskreis 739.
Acceleration 22.
Accord 321.
Acetyl 87.
Achromatismus 565.
Adhäſion 33.
Aequator, magnetiſcher 337, magnetiſcher der Erde 376, aſtronomiſcher 739, terreſtriſcher 743.
Aeolsharfe 295.
Aequatorhöhe 740.
Aequinoctium 749.
Aequivalente chemiſche 749.
Aerodynamik 259.
Aeroſtatik 189.
Aether (Aethyloxyd) 86, Himmelsäther 519.
Aethrioſkop 865.
Affinität 41.
Aggregationszuſtand 30, Aenderungen deſſelben 692.
Aldiniſches Sicherheitskleid 721, Sicherheitspanzer 722.
Alkalien 63, 80.
Alkohol 84.
Amalgam 79, Kienmayer'ſches 401
Ammoniak 69.
Amphidſalze 63.
Analyſe chemiſche 42.
Anamorphoſen, katoptriſche 548.
Anemometer 841.
Anion 460.
Anwandlung des Lichtes 612.
Anziehung 32, allgemeine 771, chemiſche 52, feſter Körper auf feſte 33, auf flüſſige 33, zwiſchen flüſſigen 34, magnetiſche 338, elektriſche 383.
Anziehungsgeſetz, der Schwere 102, des Magnetismus 353, der Elektricität 383, 385.
Apogäum 750.
Apparat, galvaniſcher 421, elektromagnetiſcher 446, magneto-elektriſcher 474.
Aräometer mit Scalen 148, mit Gewichten 150.
Armatur des Magnetes 336, einer Franklin'ſchen Tafel 404.
Aſtronomie 752.
Atmometer 838.
Atmoſphäre der Erde 815, Höhe derſelben 816, Veränderungen ihrer Beſtandtheile 816, Strömungen 840, Druckveränderungen 834; elektriſche 391, Erſcheinungen in derſelben 388.
Atom 53.
Atomgewicht 54.
Atomiſt 36.
Atomvolum 52.
Atwood'ſche Fallmaſchine 225.
Auflöſung 41.
Auflöſungsmittel 42.
Aufſteigung gerade 740.
Auge 622.
Ausdehnbarkeit 22.

Ausdehnſamkeit der Gaſe 165, iſt beſtändig 166, wächſt mit dem Drucke 172, mit der Temperatur 175; der Dünſte 206, ſpecifiſche der Gaſe 179.
Ausdehnung 11, feſter Körper durch die Wärme 687, flüſſiger 690.
Ausflußmenge des Waſſers aus einer Bodenöffnung 255, aus einer Seitenöffnung 256, aus Röhren 256, der Luft 259.
Auslader 407.
Axe, der Drehung 242, der Schwingungspuncte 233, der Kryſtalle 121, der doppelten Brechung 573, der Himmelsſphäre 738, der Erde 743, des Magnetes 350.
Azimuth 741.
Azimuthalkreis 739.
Azot 68.

B.

Bahn der Erde 750, der Planeten 757, des Mondes 761, der Kometen 764.
Barometer 168, Differenzialbarometer 179, Correction wegen der Wärme 171, dient zum Höhenmeſſen 192, zu Wetteranzeigen 678, periodiſche Veränderungen ſeines Standes 834, Abhängigkeit vom Mondesſtande 840.
Barometerprobe 181.
Baſen 63.
Bathometer 789.
Batterie, magnetiſche 341, elektriſche 405.
Beobachter 5.
Berg 794.
Bergkryſtall, deſſen eigenthümliche Lichtbrechung 602.
Beſtandtheile, chem. 43.
Beugung der Wellen 285, des Lichtes 522.
Beweglichkeit 15.
Bewegung 15, gleichförm. 18, beſchleunigte 21, über eine ſchiefe Ebene 227, Wurfbewegung 226, Pendelbeweg. 230, Centralbeweg. 237, Wellenbeweg. 262, Hinderniſſe der Bewegung 248, der tropfbaren 253, der Gaſe 259, Zuſammenſetzung und Zerlegung 221, bei elektriſchen Zerſetzungen 468, der Himmelskörper 736, der Sonne 748, der Erde 741, der Planeten 756, der Kometen 764, der Trabanten 761.
Bewegungsgröße 20.
Bild 512, im Spiegel 540, 546, in Linſen 560, im Auge 623, im Mikroſkope 642, in Fernröhren 652.
Bläue des Firmamentes 865, ihre Bedeutung 879.
Blasbalg 198.
Blasinſtrument 307.
Bliß 859.
Blißableiter 860.
Blißrad 434, Blißröhren 859.
Bodendruck einer Flüſſigkeit 139.
Bor 78.
Borſäure 78.
Brechbarkeit des Lichtes 513, der Wärme 675.
Brechung, gewöhnliche des Lichtes 548, Geſetze derſelben 549, in Linſen 558, in einer Kugel 567, verſchiedene Größe derſelben 514, doppelte im Doppelſpath 571, in anderen Kryſtallen 576, in Glas 580, coniſche 579, Erklärung derſelben 550, der Wärme 675.
Brechungsexponent 555.
Brechungsvermögen 556.
Breguet's Thermometer 690.
Breite, aſtronomiſche 741, geographiſche 743.
Breitenkreis 739.
Brennglas 560.
Brennſpiegel 545.
Brennlinie 546.
Brennpunct in einem Spiegel 545, in einer Linſe 561.
Brennſtoff 719, 724.
Brillen 625.
Brillenmeſſer 626.
Brom 75.
Bromid 60.
Bromür 61.

C.

Calmen 842.
Calorimeter 665, 724.
Camera lucida 636, obſcura 636.
Capacität für Wärme 662.
Capillarität 153, Kräfte die ſie erzeugen 154, Geſetze derſelben 155, damit verwandte Erſcheinungen 164.
Centralbewegung 237, Geſetze der-

ſelben 238, werden von Planeten befolgt 770.
Centralkraft 237.
Ceres 768.
Chamſin 846.
Chemie 9.
Chemiſche Beſchaffenheit der Körper 41.
Chemiſche Verbindung der Stoffe 41, binäre, ternäre 58, verſchiedener Ordnung 59.
Chlor 73, Chlorid 60, Chlorür 61.
Circumpolarſterne 738.
Chromatiſche Tonleiter 289.
Coercitivkraft 341, Verſchiedenheit derſelben 364.
Cohärenz 118.
Collectivglas 639.
Coluren 749.
Combinationston 324.
Cometen 737, ihre Bewegung 764, Natur und Anzahl 765.
Comma 288.
Communicationsgefäß 139.
Communicationsrohr 329.
Commutator 451.
Compreſſionspumpe 183.
Condenſator 411, Gebrauch deſſelben 412, Theorie 413.
Conductor 401.
Conjunction 757.
Conſtellation 774.
Conſonanz 321.
Contactelektricität 416, 498.
Continent 794.
Converſpiegel 547.
Converlinſen 558.
Copernicus Weltſyſtem 760.
Culmination 739.
Curve, magnetiſche 360.
Cyan 73.
Cyanometer 865.
Cylinder, Muſſchenbröck'ſche 35.

D.

Dampf 695, ſeine Anwendnng 701.
Dampfmaſchine 703, Geſchichte derſelben 704, Effect 706.
Daguerre'ſche Bilder 656.
Daniell's Pyrometer 27, Hygrometer 214.
Declinatorium 367.
Dehnbarkeit 129.
Deſtilliren 701.
Deutlichkeit eines Bildes 512, im Mikroſkope 642, im Fernrohr 651.
Diathermanſie 676.
Diathermanität 674.
Diaphragma 641.
Dichroismus 581.
Dichte 38, feſter und tropfbarer Körper 147, der Gaſe 186, der Luft 191, der Dünſte 209, der Planeten 774.
Diffuſion der Gaſe 201.
Dienung 793.
Digeſtor, papiniſcher 695.
Diſſonanz 321.
Donner 860.
Doppelſpath 571.
Doppelſterne 776.
Dreher, ſchottiſcher 35.
Drehpunct des Auges 627.
Drehwage, magnetiſche 353, elektriſche 384.
Dreiklang 288.
Druck einer Flüſſigkeit nach allen Richtungen 134, auf den Boden 140, auf die Seiten 141, auf eingetauchte Körper 141, hydrodynamiſcher 254.
Druckpumpe 199.
Dualiſten 394.
Dünſte 204, Eigenſchaften derſelben 205, Spannkraft, abſolute 206, ſpecifiſche 209, in der Luft 208, latente Wärme 699, in der Atmoſphäre 817.
Duplicator 413.
Durchſichtigkeit 615.
Dynamik 220, dynamiſch 53.
Dynamometer, optiſcher 652.

E.

Ebbe und Fluth 791, Erklärung 792.
Ebene, ſchiefe 114.
Echo 326.
Eigenſchaften, allgemeine der Körper 11.
Einfallsloth 536.
Einfallswinkel 536.
Einheit der Ausdehnung 11, des Gewichtes 37, der Dichte 38, der Kräfte 17, der Feuchtigkeit 212, der Tonſchwingungen 288, des Erdmagnetismus 377, der Weiße 618, der abſoluten und ſpecifiſchen Wärme 663.

Ekliptik 739, Schiefe derſelben 749.
Elaſticität 127.
Elektricität 379, poſitive und negative 380, galvaniſche 415, Luftelektricität 857, Erregungsmittel derſelben 493, Mittheilung derſelben 381, Vertheilung 388, gebundene und freie 392, im Gleichgewichte 380, an der Oberfläche angehäuft 386, Maß derſelben 388, Verluſt 387, in Bewegung 414, Geſchwindigkeit derſelben 409, Wirkungen chemiſche 454, auf einen Magnet 438, auf weiches Eiſen 441, auf einen beweglichen Polardrath 440, Hinderniſſe 488, Uebergangswiderſtand 493, theoretiſche Anſicht 394.
Elektriſirmaſchine 401.
Elektroden 460.
Elektrolyte 454.
Elektromagnet 442.
Elektromagnetismus 435.
Elektrometeore 857.
Elektroſkop 383, ſein Gebrauch 386, 392.
Elektrophor 410.
Element, chemiſches 43, magnetiſches 340.
Eliasfeuer 858.
Emanationshypotheſe 554.
Emiſſionsvermögen für Wärme 673.
Endosmoſe 165.
Entfernung, ſcheinbare 627, der Fixſterne 775.
Epicykel 757.
Erdaxe 743.
Erdbahn, ihre Neigung gegen die Axe 753, ihre Aenderung 755.
Erdbeben 808.
Erde, ihr Magnetismus 366, Geſtalt 742, Größe 747, Bewegung 743, 750, Abplattung 746, Dichte 778, ihre Veränderungen 803.
Erden 80.
Erdtrombe 845.
Erfahrungsnaturlehre 4.
Ergänzungstheilchen 124.
Erhebungshypotheſe 810.
Erkaltung, ihre Geſetze 685.
Erleuchtung 613.
Erſcheinungen 3.
Erſchütterung durch Elektricität 407, 434.
Erwärmung durch die Sonne 708, Druck und Reibung 712, chemiſche Wirkung 714, Elektricität 713, Lebensproceß 717.
Eſſiggährung 86.
Eudiometer 70.
Exosmoſe 165.
Expanſivkraft des Dampfes 207.
Experiment 5.

F.

Fall, freier 223, über eine ſchiefe Ebene 227, durch die Sehne und den Bogen eines Kreiſes 228, in einem widerſtehenden Mittel 252.
Fallmaſchine Atwood'ſche 225.
Farben d. Spectrums 513, 517, objective 630, dünner Körper 607, im polariſirten Lichte 597, ſubjective 632.
Farbſtoff 631.
Farbenbild, prismatiſches 513, durch Beugung 523.
Farbenglas Newton'ſches 608.
Farbenkreiſel 631.
Farbenmeſſer 597.
Farbenringe, Newton'ſche 608, polariſirte 599, elektriſche 466.
Färbung der Linſenbilder 565.
Fäulniß 87.
Federwolke 851.
Fernröhre 646, dioptriſche 647, katoptriſche 650.
Feſtigkeit 191.
Feuchtigkeitsgrad 212.
Feuerkugel 875.
Feuermeteore 874.
Feuerſpritze 199.
Figuren, Lichtenberg'ſche 403.
Finſterniß 762.
Firmament, Farbe deſſelben 685.
Fiſche, elektriſche 505.
Fixſterne 757, ihre Größe und Entfernung 775.
Fläche, cauſtiſche 546.
Flamme 727.
Fliehkraft 241.
Flötenwerkspfeifen 309.
Fluor 75.
Flußſäure 75.
Flüſſe 783.
Flüſſigkeit, Maß derſelben 137, ihre Zuſammendrückbarkeit 137, Kräfte, welche darauf wirken 138.
Fraunhofer'ſche Linien 516.
Fresnel'ſche Fläche 579, Parallelepiped 592.

Fundamentalverſuch, Volta'ſcher 415.
Funkeln der Sterne 880.

G.

Gährung, weinige 84, ſaure 86.
Galvani 415.
Galvanometer 438.
Galvanoplaſtik 464.
Gaſe 31, können tropfbar werden 32, werden abſorbirt 202, wieder frei gemacht 204, ihr Gleichgewicht 189, ihre Bewegung 259, ihre Ausdehnſamkeit 165.
Gaſometer 197.
Gebirge 795, Meſſen ihrer Höhe 796.
Gebirgsſyſteme 799.
Gehörorgan 330.
Geographie, phyſiſche 779.
Geſchwindigkeit 18, bei der gleichförmigen 18, bei der gleichförmig beſchleunigten Bewegung 20, der frei fallenden Körper 223, über eine ſchiefe Ebene 228, der Wellen 280, des Schalles 269, der Elektricität 409, des Lichtes 518, der Wärme 674, der Flüſſe 784, der Winde 841.
Geſichtsfeld, in optiſchen Inſtrumenten 642.
Geſichtswinkel 627.
Gewicht 37, abſolutes, ſpecifiſches 39, Art es auszudrücken 39, iſt die Reſultirende der Schwerkräfte 104, Beſtimmung des ſpecifiſchen flüſſiger 147, feſter Körper 148, der Gaſe 186, der Dünſte 209.
Gewitter 858.
Gleichgewicht 90, ſtabiles, labiles 106, der Kräfte 96, die Molecularkräfte feſter Körper 118, der Flüſſigkeiten 138, der tropfbaren insbeſondere 133, der Gaſe 189, der Dünſte 204, der Wärme 679.
Gleichgewichtsfläche, magnet. 360.
Globus 745.
Glühlampe 723.
Golphſtrom 793.
Gramme 37.
Gravitation 772.
Größe, ſcheinbare 628, der Bewegung 20.
Grundſtoffe 43, Aufzählung derſelben 56.
Grundton 287.
Gyrotrop 452.

H.

Haarröhrchen 153, Theorie der Erſcheinungen 154, verwandter Erſcheinungen 164.
Hagel 861.
Hagelableiter 863.
Halbleiter 381.
Halbſchatten 510.
Harmattan 846.
Harmonica, chemiſche 308.
Harmonie 321.
Härte 129.
Haufenwolke 851.
Hauptaxe 571.
Hauptſchnitt 572.
Hausrath, chemiſcher 47.
Hebel 110.
Heber, anatomiſcher 140, Stechheber, gekrümmter Heber 195, Stoßheber 258.
Heberbarometer 169.
Helena St. 858.
Helioſtat 541.
Heliotrop 541.
Heronsball, Heronsbrunnen 198.
Heß's Waſſermaſchine 243.
Himmelsſphäre 737.
Hinderniſſe der Bewegung 248, der Elektricität 488.
Höfe 867.
Höhe, aſtronomiſche 741.
Höhenmeſſung 192, 795.
Höhenrauch 850.
Hohlſpiegel 544.
Holzmann's Thermometer 690.
Horizontale Linie 36.
Hören 330.
Hörrohr 329.
Humus 87.
Hydrat 67.
Hydrogen 66.
Hydrodynamik 253.
Hydroſtatik 133.
Hygrometer 213.
Hyperoxyd 60.
Hypotheſe 6.

J.

Jahr, tropiſches, ſideriſches 752, anomaliſtiſches 755, Schaltjahr 752.
Jahreszeiten 753, in verſchiedenen Zonen 819.
Inclinatorium, magnetiſches 371.

Indifferente Stoffe 61.
Indifferenzpuncte, magnetiſche 360.
Induction 5, elektriſche 391, 469, unipolare 481.
Inſeln 768.
Inſtrument, optiſches 635.
Interferenz der Wellen 273, des Schalles 322, des Lichtes 521.
Joch 798.
Jod 75.
Jon 454.
Irradiation 624.
Irrlichter 874.
Iſothermen 827.
Iſoliren 381.
Iſomerie 60.
Julianiſche Zeitrechnung 752.
Juno 768.
Jupiter 768.

K.

Kaleidophon 299.
Kaleidoſkop 542.
Kammer, dunkle 510, lichte 636.
Karten, geographiſche 745.
Kation 460.
Katalyſe 45.
Keil 116.
Kepler's Geſetze 241.
Kerngeſtalten 124.
Kernſchatten 510.
Kette, galvaniſche 420, ihre Wirkungen 424, Becquerel'ſche 455, thermo-elektriſche 486.
Kieſel 96.
Klang 220.
Klangfiguren 302, Bewegung derſelben 305, bei mittönenden Körpern 317.
Kleeſäure 72.
Klima, allgemeines darüber 829.
Kniepreſſe 109.
Knoten 760.
Knotenlinie 291.
Kohlenſtoff 72.
Kohlenoxyd 72.
Kohlenwaſſerſtoff 73.
Kohlenſäure 72.
Kometen 764.
Körper 3, ihr Aggregationszuſtand 30, materielle Verſchiedenheit 41
Kraft 6, 16, Grundkräfte 32, Zuſammenſetzung und Zerlegung 90, Reſultirende 91, Fliehkraft 241, Centralkraft 237, magnetiſche 352, Coercitivkraft 341, elektromotoriſche 416, laterale 452.
Kräftenparallelogramm 96.
Kreisbewegung 240.
Kreuzungspunct 627.
Kryſtalle 118, Entſtehen derſelben 118, Beförderung des Entſtehens 119. Kryſtallaxen 122, einfache Geſtalten 122, Kryſtallreihen 123, Ableitung 123, innerer Bau 124, doppelte Brechung 576, Ausdehnung durch die Wärme 688, Elektriſchwerden 433.
Kryſtalliſationswaſſer 120.
Kryophor 700.

L.

Ladungsſäule 425.
Lampenmikroſkop 644.
Landhöhen 797.
Landkarten 745.
Länge, aſtronomiſche 741, geographiſche 744.
Längenſchwingungen der Luft 264, der Saiten 296, der Stäbe 300.
Leere, torricelliſche 167.
Lagerungen 79.
Leidnerflaſche 405.
Leiter der Elektricität 381, 425, der Wärme 684.
Leitfähigkeit für Elektricität 381, für Wärme 681, Beſtimmung derſelben 683.
Leitungswiderſtand 429.
Leitungsgeſetze 430.
Licht, allgemeine Betrachtungen 508, geradlin. Fortpflanzung 535, Beugung 522, Farbenzerſtreuung 513, 556, Reflexion 536, Brechung einfache 548, doppelte 571, coniſche 579, Interferenz 521, Polariſation 581, Abſorption 613, beim Verbrennen 726.
Lichtbilder 656.
Lichterbrunnen 198.
Lichtſtärke 613.
Lichtſtrahl 509, polariſirter 584.
Linien, Fraunhofer'ſche 516, 524, iſogoniſche 375, iſodynamiſche 376, iſobarometriſche 836, iſothermiſche 827.
Linſen 558, Sammellinſen 560, Zerſtreuungslinſen 561, achromatiſche

565, aplanatiſche 640, dialytiſche 567.
Liter 12.
Llanos 800.
Loupen 637, Wilſonſche 639.
Luft, atmoſphäriſche 69, ihre Beſtandtheile 69, 815, Dichte 186, Druck 168, 834.
Luftballon 194.
Luftdruck 168, Variationen deſſelben 834.
Luftelektricität 857.
Luftpumpe 180, mit Hahn 181, mit Ventil 184, Verſuche mit derſelben 185.
Luftſpiegelung 867.
Luftſtrömungen 840.
Luftthermometer 177.

M.

Magazin, magnetiſches 341.
Magdeburgiſche Halbkugeln 185.
Magnet 335, ſein Pole 336, Erzeugung 341, Wirkung zweier auf einander 338.
Magnetiſiren durch Streichen 341, durch Elektricität 441.
Magnetismus, Vertheilung im Innern eines Stabes 359, Wirkung äußerer Umſtände auf ihn 361, der Wärme 362, der Erde 366, des weichen Eiſens 443, der Lage 365.
Magnetnadel 337, 347, aſtatiſche 348, Ablenkung durch Elektricität 436, durch rotirende Platten 479.
Magneto-Elektricität 469.
Magneto-elektriſche Maſchine 473.
Magnetometer 353, 362.
Manometer 178, 193.
Mariotte'ſches Geſetz 173.
Mariotte'ſche Flaſche 196.
Mars 767.
Maſchine, einfache 108, zuſammengeſetzte 117.
Maß der Länge 11.
Maſſe 19.
Materie 3, magnetiſche 440, elektriſche 394.
Mechanik 90.
Meer 788.
Megaſkop 645.
Melodie 321.
Membrane, geſpannte, deren Schwingungen 298.
Meridian, magnetiſcher 337, aſtronomiſcher 739, terreſtriſcher 744.
Merkur 767.
Metacentrum 143.
Metameriſche Stoffe 60.
Metamorphoſe organiſcher Körper 83, 88.
Meter 12.
Metalle 78, deren Oxyde 80, magnetiſche 339.
Meteorologie 814.
Meteorſteine 875.
Mikrometer 843, Rochon'ſches 576.
Mikroſkope, dioptriſche 637, katoptriſche 644, einfache 637, zuſammengeſetzte 639, Wollaſton'ſche 639, Lampen-, Gas-, Sonnenmikroſkop 644.
Milchſtraße 776.
Mineralwaſſer 782.
Miſchung 41.
Miſchungsgewicht 49.
Mittag (Süd) 738.
Mittagsebene 739.
Mittagskreis, erſter 744.
Mittel, ihr Widerſtand 248.
Mitternacht (Nord) 738.
Mittönen 316.
Molekel 28.
Molekularkraft 32, 133.
Moment einer Kraft, ſtatiſches 100, der Trägheit 235, magnetiſches 355, 362.
Mond, Bewegung 761, Phaſen 761, Größe und Entfernung 770, Beſchaffenheit 769, Finſterniſſe 762.
Mondmonat 761.
Mondzirkel 763.
Mongolfier 194.
Monochord 286.
Morgen (Oſt) 736.
Morgenröthe 865.
Mouſſons 843.
Multiplicator, elektriſcher 438.

N.

Nachhall 326.
Nachſommer 825.
Nachtbogen 739.
Nachtgleichen 755.
Nadir 739.
Natur, Naturkunde 3, Naturgeſchichte 4, Naturlehre 4, ihr Nutzen 10.

Naturgeſetz 6.
Nebel 851.
Nebelflecken 776.
Nebenplaneten 737, 761.
Nebenſonnen, Nebenmonde 869.
Neigung magnetiſche 337, Aenderung derſelben 373.
Neumond 761.
Neutralſalz 64.
Neutraliſirende Platte 365.
Nord 736.
Nordlicht 863.
Nutation 755.

O.

Oaſen 799.
Oberfläche der Flüſſigkeiten 160, der Atmoſphäre 815.
Objective zu Mikroſkopen 640, Fernröhren 646.
Ocular zu Mikroſkopen 640, Fernröhren, pancratiſche 647.
Oefen chemiſche 47.
Ohm'ſches Geſetz 430.
Ohr des Menſchen 830.
Ombrometer 854.
Oppoſition 757.
Orgelpfeifen 309.
Ort geocentriſcher, heliocentriſcher 758.
Oſt 736.
Oralſäure 72.
Oryd 60.
Orygen 65.

P.

Pallas 768.
Parallaxe 747.
Parallelkreiſe aſtronomiſche 738, terreſtriſche 743.
Paſſageinſtrument 740.
Paſſatwind 842.
Paſſivität des Eiſens 466.
Paß 798.
Pendel einfaches 230, zuſammengeſetztes 233, Reverſionspendel 233, als Zeitmeſſer 235, Compenſationspendel 236.
Perigäum 750.
Perturbationen 772.
Pfeifen 308.
Phaſen der Schwingungen 274, des Mondes 761.
Phlogiſton 728.
Phänomen 3.
Phosphor 77.
Phosphorſäure 77.
Photographie 656.
Photometer 708, 620.
Phyſik 9.
Planeten 737, jährliche Bewegung derſelben 757, bewegen ſich um die Sonne 759, ihre Natur 767.
Polardrähte 423, werden ſelbſt elektriſch 467, magnetiſch 441, wirken auf einander 448.
Polariſation der Schwingungen 272, des Schalls 318, des Lichtes 581, unvollkommene 588, circulare 594, elliptiſche 594, der Wärme 679.
Polariſationsinſtrument 601, Winkel 584.
Polariſationsrichtung 584.
Polariſkop 606.
Polarkreiſe 749.
Pole des Magnetes 336, magnetiſche der Erde 376, elektr. einer Säule 424, des Himmels 739, der Erde 743.
Polhöhe 740.
Polymeriſche Stoffe 60.
Poroſität 30.
Präceſſion 755.
Preſſe Real'ſche 140, Bramah'ſche 135.
Prisma, Nicol'ſches 588, Rochon'ſches 576.
Probeſcheibe 385.
Probenadel 342.
Probeobject 642.
Procentenaräometer 149.
Projectionsarten 745.
Ptolomäus, Weltſyſtem 759.
Pumpe für Waſſer 198, Luft 180.
Pyrometer 27, 688.
Pyrheliometer 709.
Pyrophor 719.

Q.

Quadratur 757.
Quellen 780.
Queckſilberthermometer 23.
Querſchwingungen der Saiten 295, der Stäbe 298.

R.

Rad an der Welle 113, Segner'ſches 141, Barlow'ſches 446.
Raum, leerer, torricelliſcher 167, ſchädlicher 182.

Rauminhalt 11.
Reagentien 43.
Reflexion der Wellen 283, des Schalls 325, des Lichtes 536, totale 549, der Wärme 677.
Reflexionsgoniometer 541.
Reflexionsvermögen, thermiſches 677.
Reflexionswinkel 536.
Refractoren 646.
Regen 853.
Regenmenge 854.
Regenwaſſer 855.
Regentropfen 853.
Regenbogen 871.
Regengallen 871.
Reibung 248, Verſuche darüber 250, Quelle der Elektricität 379, der Wärme 712.
Reibungsexponent 249.
Reibungsmeſſer 249.
Reibzeug 401.
Reif 849.
Reſonanz 317.
Reſonanzfiguren 317.
Reſultirende Kraft 22, Bewegung 220.
Reverſionspendel 233.
Richtungsſtrahl 627.
Rochon'ſches Prisma 576.
Rolle 114.
Römerzinszahl 763.
Rohrwerkspfeifen 312.
Roſtpendel 236.
Rotiren um eine Axe 242, elektromagnetiſches 445, 447.
Rotationsmaſchine 473.
Rotationsmagnetismus 427.
Rückſchlag 860.
Ruhe 15.

S.

Sättigung chemiſche 48.
Saite, ihre Schwingungen 270.
Sauerſtoff 65.
Säure 61.
Salpeterſäure 68.
Salze, Haloidſalze 60, Amphidſalze 63, baſiſche, ſaure 64, Doppelſalze 64.
Salzſäure 74.
Sammellinſe 560.
Samum 846.
Sättigung 48.
Saturn 768.
Saugpumpe 198.
Säule, Volta'ſche 420, trockene 425, zweielementige 426.
Schall 268.
Schallmittel 320, Geſchwindigkeit in der Luft 269, in anderen Körpern 270.
Stärke 327.
Schallſtrahl 325.
Schallwelle 266.
Schaltjahr 752.
Schatten 510, gefärbte 633.
Schichtwolke 851.
Schiefe der Ekliptik 749, iſt veränderlich 755.
Schiefe Ebene 114.
Schlagwerke, elektriſche 393.
Schmelzen 692.
Schnee 856.
Schneegrenze 822.
Schnellwage 113.
Schraube 115.
Schweben der Töne 324.
Schwefel 75.
Schwefelſäure 76.
Schwefelwaſſerſtoff 77.
Schwere 36, Theorie derſelben 102, allgemeine 772.
Schwerkraft 772.
Schwerpunct 104.
Schwimmen, natürliches 143, 145, künſtliches 146.
Schwingungen überhaupt 262, des Waſſers 291, der Luft 307, der Saiten 295, Stäbe 299, Membranen 298, Platten 303, des Aethers 519, Zuſammenſetzung derſelben 273, polariſirte 272, Interferenz derſelben 273.
Schwingungsknoten 291.
Schwingungspunct 233.
Schwingungsweite 275.
Schwungkraft 241.
Schwungmaſchine 242.
See 787.
Seegeſicht 867.
Segner'ſches Rad 141.
Sehweite 625.
Seilmaſchine 109, Vera'ſche 135.
Selen 77.
Sicherheitslampe 722.
Sicherheitskleid 721.
Sicherheitspanzer 722.
Sicherheitsrohr 197.
Sieden 694.
Siedhitze 695.

Sirocco 846.
Sinnenwelt 3.
Solenoid, elektriſches 453.
Solſtitium 749.
Sonne 782, ihre ſcheinbare Bewegung 748, Beſchaffenheit 765, Finſterniſſe 761.
Sonnenmikroſkop 644.
Sonnentag 751.
Sonnenzirkel 753.
Sonntagsbuchſtabe 753.
Spannkraft der Dünſte 211.
Spannung, elektriſche 402, einer Flaſche 408.
Spannungsreihe, elektriſche 416.
Spectrum 513.
Spiegel, ebene 537, ſphäriſche 544, cylindriſche und coniſche 547, Winkelſpiegel 542, Lieberkühn'ſche 639.
Spiegelſextant 541.
Sprachrohr 34.
Springbrunnen 257.
Sprödigkeit 129.
Stabilität 107.
Stäbe, ihre tönenden Schwingungen 299, 301.
Statik 90.
Stechheber 195.
Steppen 800.
Sternbild 174.
Stereoſkop 629.
Sterne, fixe 737.
Sternſchnuppen 874.
Sternenſyſtem 777.
Sterntag 751.
Stickſtoff 68.
Stimmorgan 314.
Stöchiometrie 54.
Stoffe 41, indifferente 61, iſomeriſche, polymeriſche, metameriſche 60, organiſche 81.
Stoß 243, gerader, centraler, unelaſtiſcher 244, elaſtiſcher Körper 244, ſchiefer 247, excentriſcher 247, des Waſſers 258, der Luft 262, der Elektricität 406, iſt Quelle der Wärme 712.
Stoßheber 258.
Stoßmaſchine 246.
Strömungen, magnetiſche 374, des Waſſers 772.
Strahl des Lichtes 509, der Wärme 674.
Strahlenbrechung, aſtronomiſche 569, terreſtriſche 867.
Strich 341, einfacher 342, doppelter 343, Kreisſtrich 346.
Strom, elektriſcher 414, ſeine Geſchwindigkeit 408, ſeine Wirkungen 418, 427, ſeine magnetiſirende Kraft 441, chemiſche Wirkung 454, inducirter 469, thermo-elektriſcher 486, Wirkung zweier auf einander 449.
Stromſtrich 785.
Structur der Kryſtalle 124.
Subjectiver Ton 324.
Süd 736.
Südpunct 739.
Südlicht 863.
Sumpf 788.
Syrene 286.

T.

Tafel der Grundſtoffe 56, der Compreſſibilität der Flüſſigkeiten 137, der Dichte 151, 217, der Spannkraft der Dünſte 207, der Tonwerthe 289, des Thermohygrometers 217, der Luftwellenlängen 533, des Brechungs- und Zerſtreuungsvermögens des Lichtes 556, der Farbenordnungen 609, der Helligkeit des Mondes 621, der Wärmecapacitäten 667, 669, des Ausſtrahlungsvermögens 673, des thermiſchen Leitvermögens 684, der Ausdehnung durch die Wärme 689, 691, der Siedhitze 697, der Kältemiſchungen 717, der Wärme von Brennſtoffen 725, der Tageslänge in verſchiedenen Breiten 754, der Maſſe und Dichte der Planeten 774, der Waſſermengen der Flüſſe 786, der Schneegrenzen 822, der Vegetationsgrenzen 829, der Wärmeabnahme nach oben 822, der mittleren Luftwärme 830, Erdwärme 832, der Verdunſtungsgröße 839, der Luftfeuchtigkeit 847, der Regenmenge 856.
Tafel Franklin'ſche 404.
Tag 751, Sonnentag, Sterntag 752.
Tagbogen 739.
Tangentialkraft 237.
Taucherglocke 195.
Täuſchungen, optiſche 633.
Telegraph, elektriſcher 440, elektromagnetiſcher 477.

Teleſkope 646.
Temperatur 23, der Erdoberfläche 832, des Tages 823, des Jahres 825, des Inneren der Erde 833, der oberen Luftſchichten 822, acuſtiſche 290.
Temperiren der Töne 290.
Thau 848, ſein Entſtehen 849.
Thaumatrop 634.
Theilbarkeit 28.
Theilung 28.
Theodolith 741.
Thermodynamik 670.
Thermoelektricität 482, des Turmalins 483, anderer Metalle 484.
Thermoſäule 671.
Thermometer, Queckſilberthermometer 23, Weingeiſt 26, Maximum und Minimum = Thermometer 26, Luftthermometer 177, Differenzialthermometer 672, Metalltherm. 690, Contacttherm. 683, Geotherm. 834.
Thierkreis 756.
Ton, deſſen Höhe 286, Grundton 287, ſubjektiver 324.
Tonleiter 287, chromatiſche 289.
Torricelliſche Leere, Röhre 167.
Trabanten 737.
Trägheit 16.
Transverſalmagnet 346.
Transverſalſchwingung 272.
Trennung der Theile als Elektricitätsquelle 497.
Trevelyan's Inſtrument 319.
Tribometer 249.
Trogapparat 421.
Tropfbare Körper 31.
Turmalin, deſſen Elektricität 483.
Tycho de Brahe's Weltſyſtem 760.

U.

Ueberſchwemmungen, allgemeine 809.
Uebermucht 252.
Undulationshypotheſe 518, Erklärung der geradlinigen Fortpflanzung 535, der Beugung 527, der Reflexion und Brechung 551, doppelten Brechung 573, Polariſation 584.
Undurchdringlichkeit 14.
Unitarier 395.
Unterſtützungspunct 110.
Uranus 768.

V.

Vegetation, Quelle der Elektricität 858, Zuſammenhang mit der Temperatur 828.
Venus 767.
Verbindung, chemiſche 41.
Verbrennen 719, Temperatur dazu 720, Product 723, Wärme 721, Licht 726.
Verdünſtung 698, Grenzen derſelben 698, Wärmebindung dabei 699, jährliche 839, 847.
Vergrößerung der Mikroſkope 642, Fernröhre 647, 648.
Verhältniß, ſtatiſches 108.
Verſuch 5.
Verſchiebbarkeit der Theile 137.
Verwandtſchaft, chemiſche 41.
Veſta 768.
Vollmond 761.
Voltameter 461.
Volum 11.
Vorgebirge 799.
Vorrücken der Nachtgleichen 755.
Vulcane, Erſcheinungen bei ihrem Ausbruche 805, Ruhezeit 806, Herd 807, Urſache 808.

W.

Wage 38, Theorie derſelben 111, Schnellwage 113, hydroſtatiſche 147.
Wagmanometer 193.
Wahlverwandtſchaft 46.
Wahrſcheinlichkeitsrechnung 5.
Wärme 661, ſpecifiſche 663, ſtrahlende 670, geleitete 680, gebundene 693, Bewegung derſelben 685, deren Wirkungen 688, 692, Quellen derſelben 708.
Wärmecapacität 662, Beſtimmung derſelben 663, 667.
Wärmeſtoff 661, 729.
Wärmeſtrahlen 673, Brechung derſelben 675, Abſorption 675, Reflexion 677, Diffuſion 677, Polariſation 679.
Waſſer, reines 67, ſpecifiſches Gewicht desſelben 152, Quellwaſſer 782, Flußwaſſer 785, Meerwaſſer 790, Regenwaſſer 855.
Waſſerhoſen 845.
Waſſermeteore 844.
Waſſerſäulenmaſchine 140.

Bayerische Staatsbibliothek München

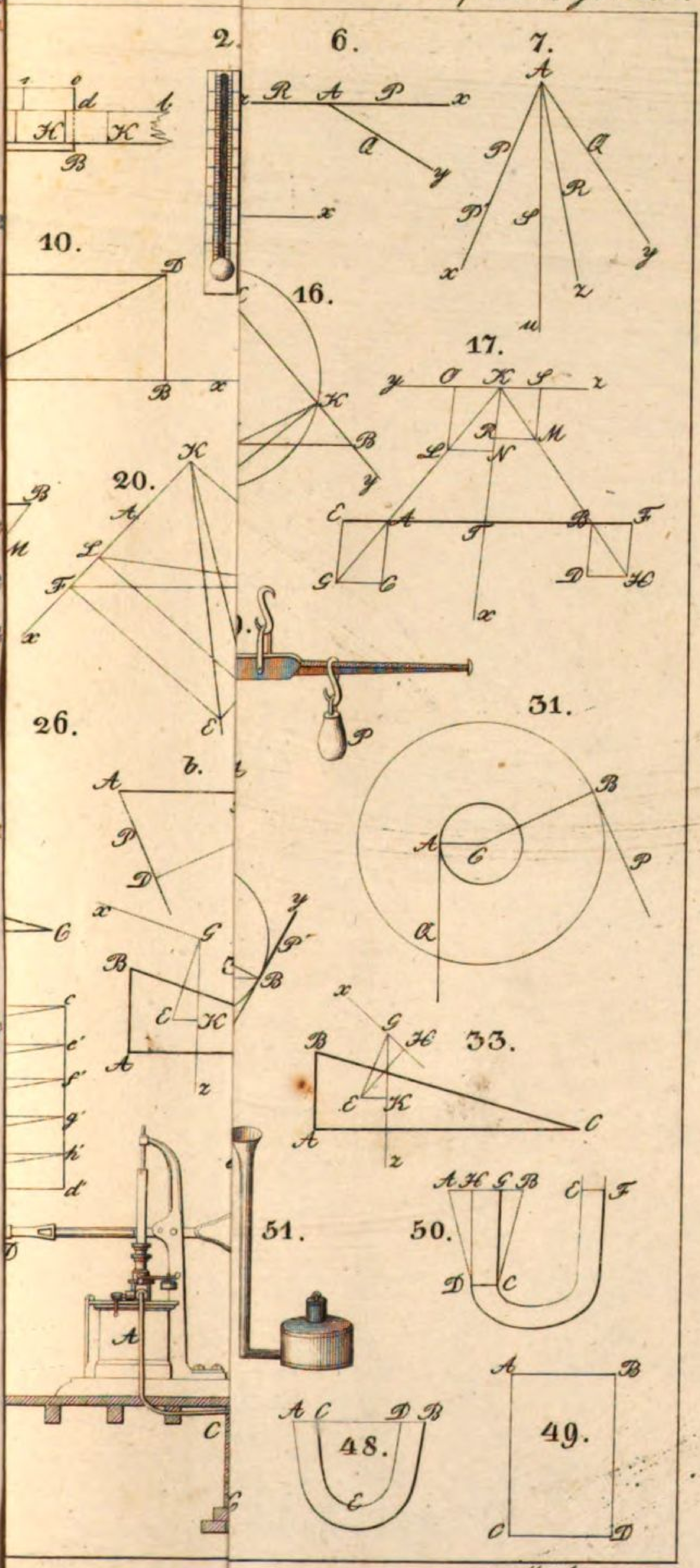
Waſſerſtoff 66.
Waſſerwage 144.
Waſſerziehen 866.
Weingeiſt 84.
Weingeiſtthermometer 26.
Weiße eines Körpers 618.
Weitſichtige 625.
Wellen des Waſſers 278, ihr Fortſchreiten 279. Geſchwindigkeit 280, Begegnen 283, Reflexion 283, Beugung 285, ſtehende 291, auf dem Meere 794, des Schalls 263, 266.
Wellenlänge 275, des Lichtes 533.
Wellenberg 262.
Wellenfläche 537.
Wellenrinne 281.
Wellenthal 278.
Wellrad 113.
Weltall 774.
Weltaxe 738.
Weltordnung 760.
Weltmeer 788, ſein Boden 689, Leuchten 791, Salzigkeit 790, Bewegung 791.
Welttheile 779.
Wendekreiſe 749.
Weſt 736.
Wetterregeln 876.
Wetterſäule 845.
Widerſtand des Mittels 251.
Wiederhall 326.
Wind 840, Stärke 841, beſtändige 842, periodiſche 843, unregelmäßige 844.
Windbüchſe 199.
Windroſe, thermiſche 846.
Winkelſpiegel 542.
Wirbelwind 842.
Witterung 814.
Wolken 849, Farbe, Größe und Bewegung derſelben 850, Geſtalt 851.
Wolkenbruch 853.
Wurf 226.
Wurfweite 227.
Wüſten 799.

Z.

Zahl, ſtöchiometriſche 54, goldene 763.
Zauberlaterne 645.
Zauberperſpektiv 542.
Zeichenſprache, chemiſche 55.
Zeit, Meſſen derſelben durch Pendel 235, durch Erdbewegung 751.
Zeitgleichung 752.
Zeitmeſſer 235.
Zeitrechnung 752.
Zenith 739.
Zerlegung der Kräfte 90, der Bewegung 221, chemiſche 45, 454.
Zerreißen 130, Zerdrücken 131, Zerbrechen 132.
Zerſetzung, chemiſche 45, durch Elektricität 454.
Zerſtreuung des reflectirten Lichtes 512, der Wärme 677.
Zerſtreuungslinſen 561.
Zerſtreuungsverhältniſſe 555.
Zerſtreuungsvermögen 556.
Zuſammenhang der Körper 130, der Flüſſigkeiten 136.
Zodiakallicht 873.
Zonen 818.
Zucker 84.
Zündſtoff 719.
Zungenpfeifen 311.
Zuſammenziehung des Waſſerſtrahles 255, eines Luftſtrahles 260.

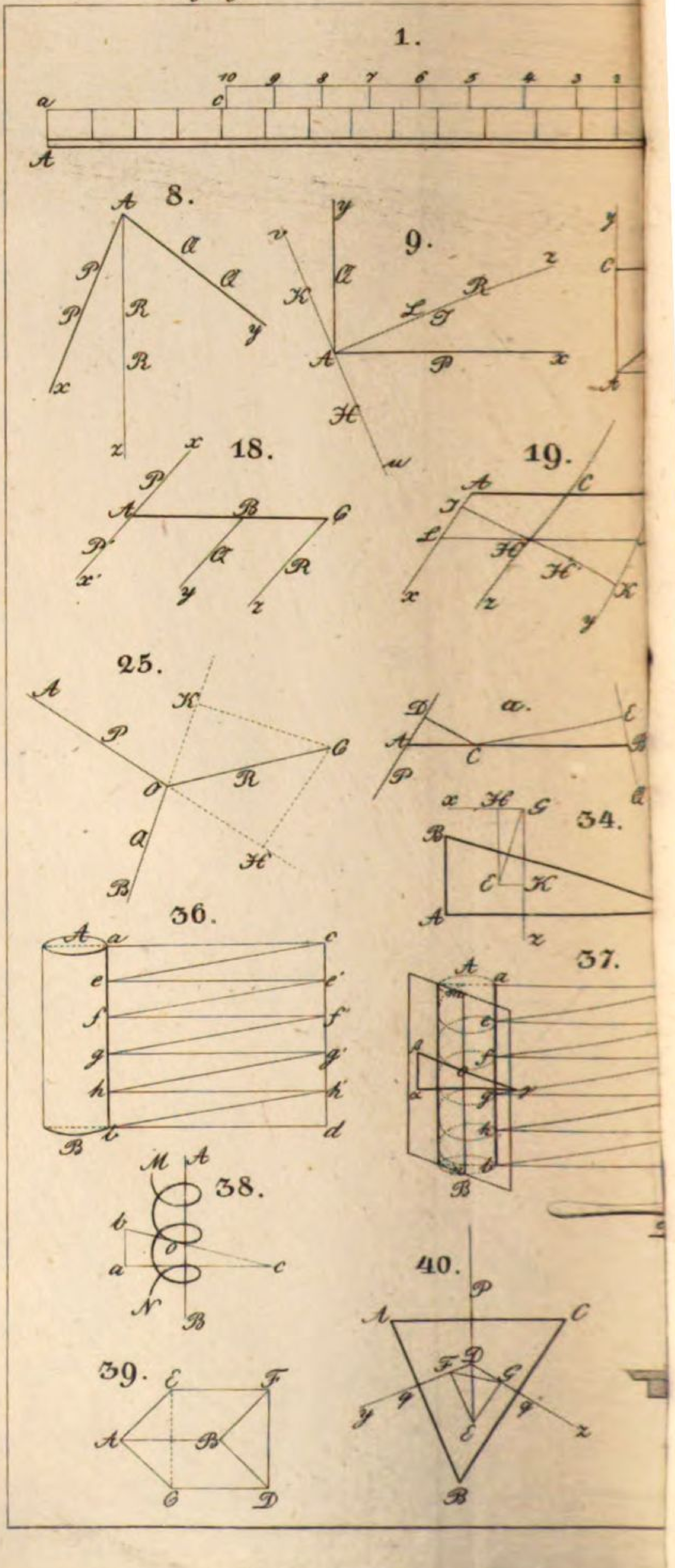
Bayerische Staatsbibliothek München

Taf. I. Fig. 1—51.

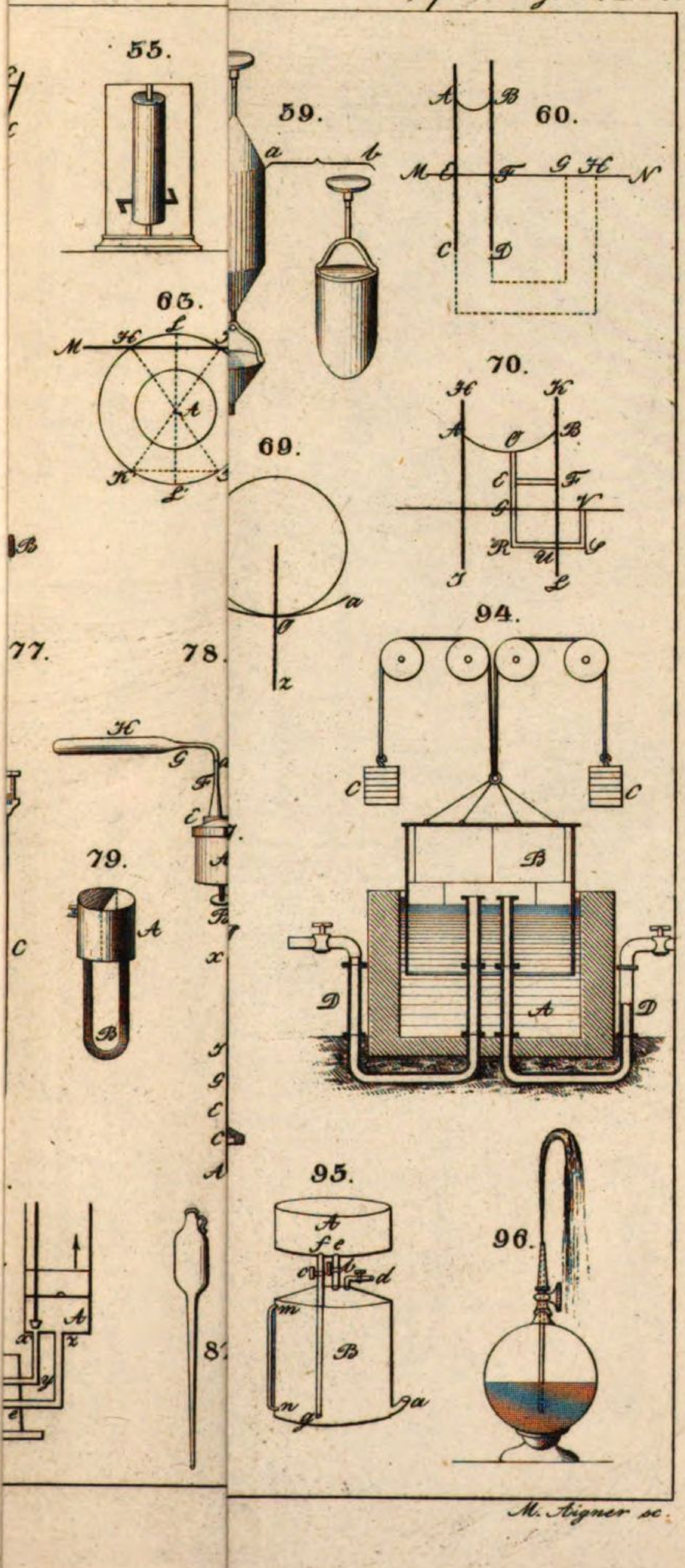


M. Aigner sc.

Naturlehre 7.te Auflage.

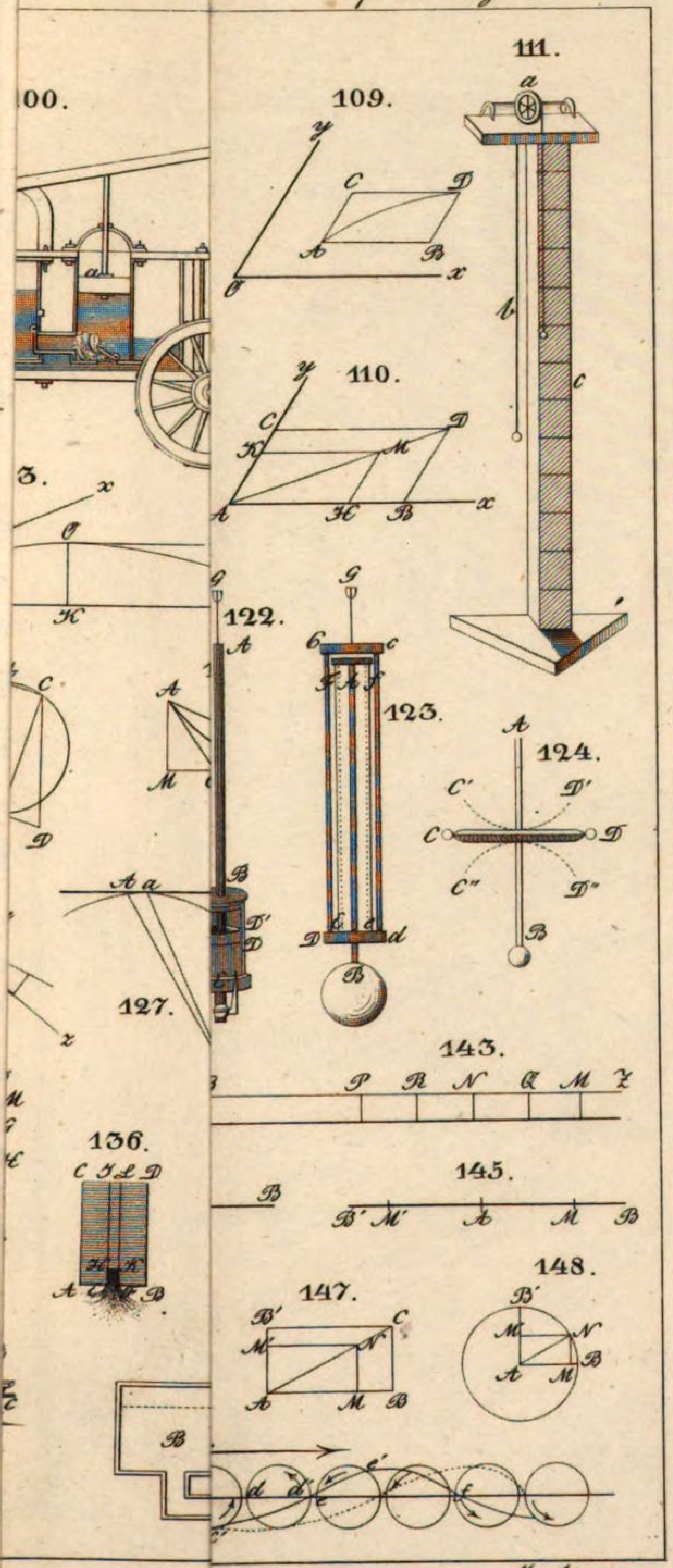


Taf. II. Fig. 52 – 97.



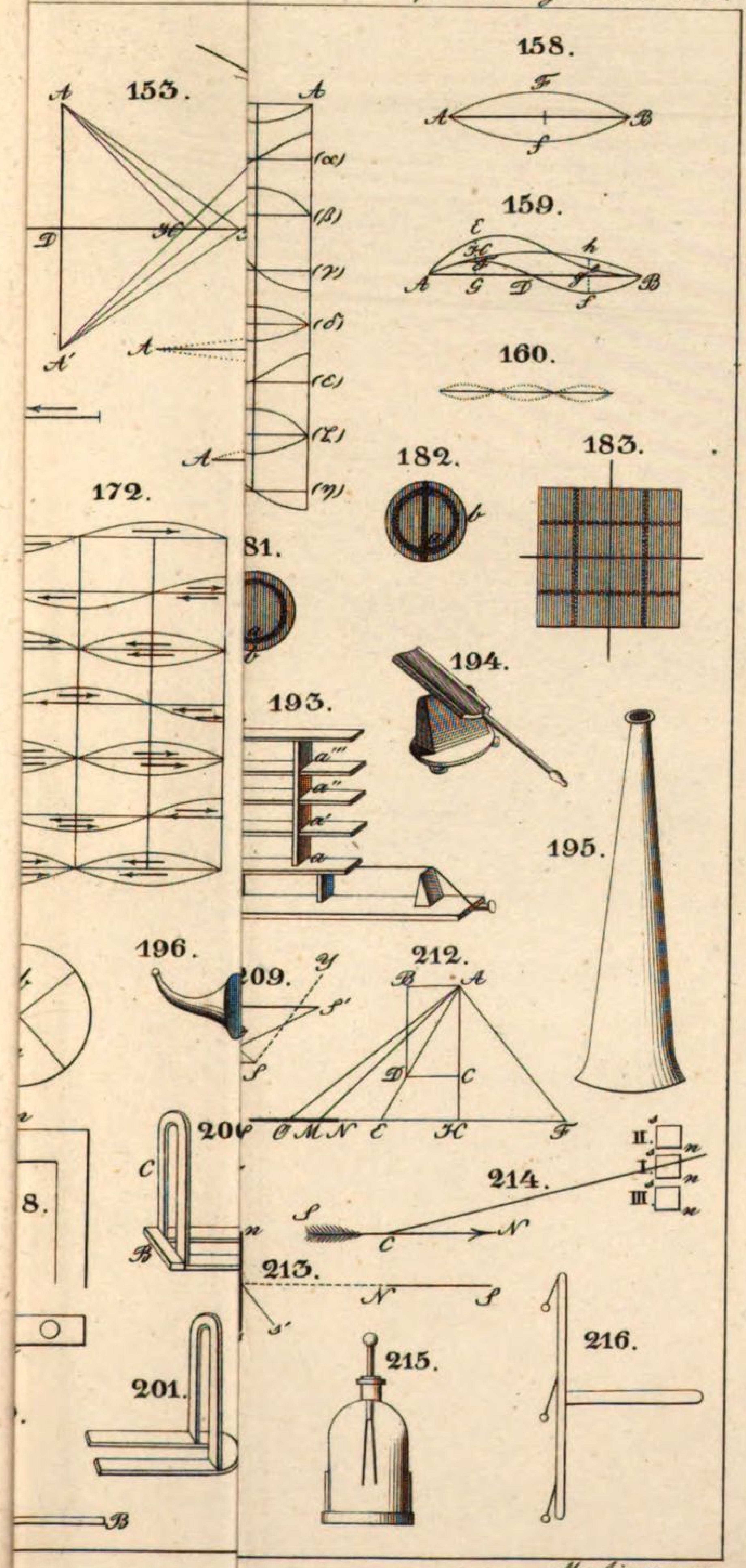
M. Aigner sc.

Taf. III. Fig. 98–151.



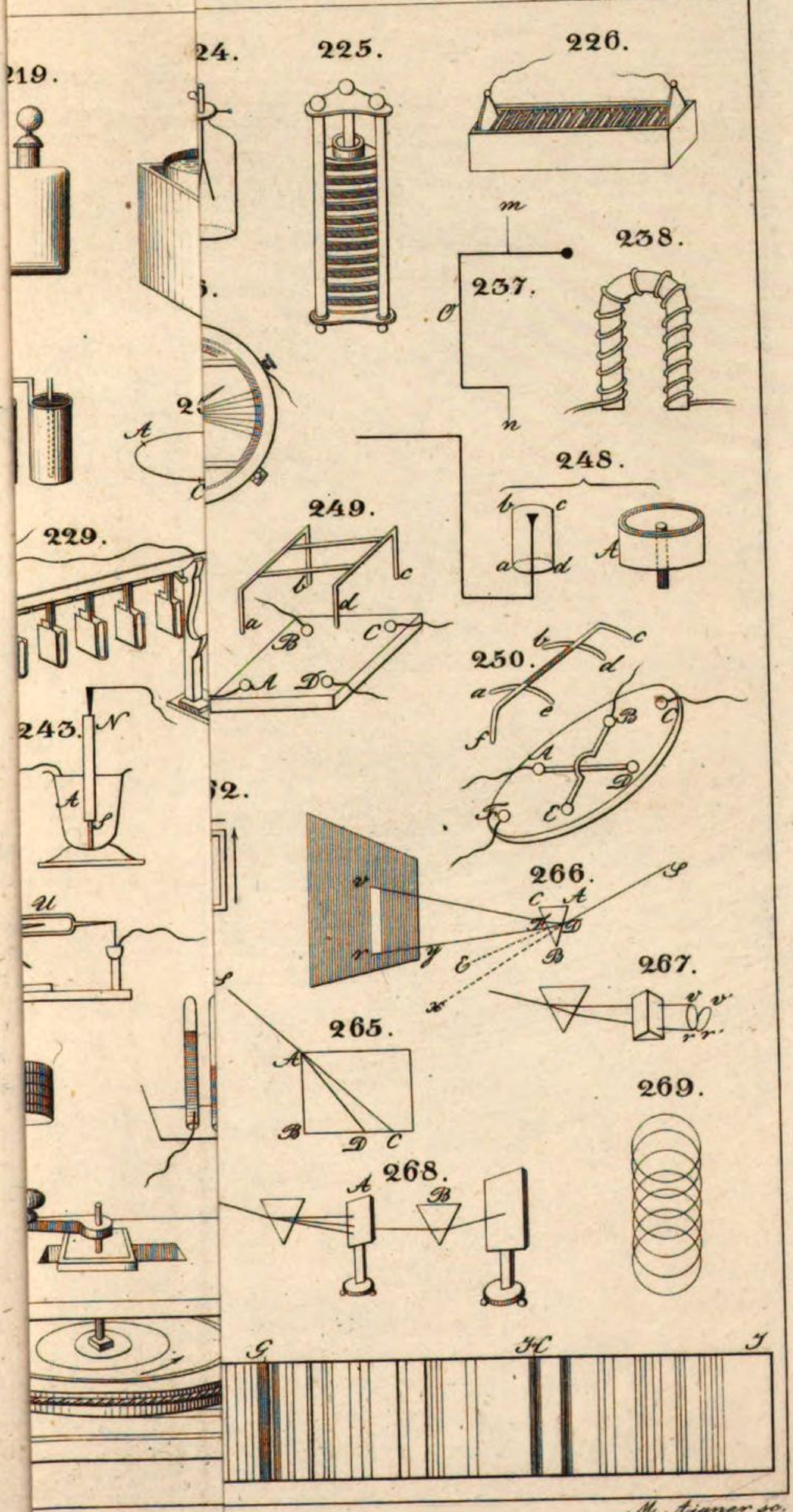
M. Aigner sc.

Taf. IV. Fig. 152 – 216.

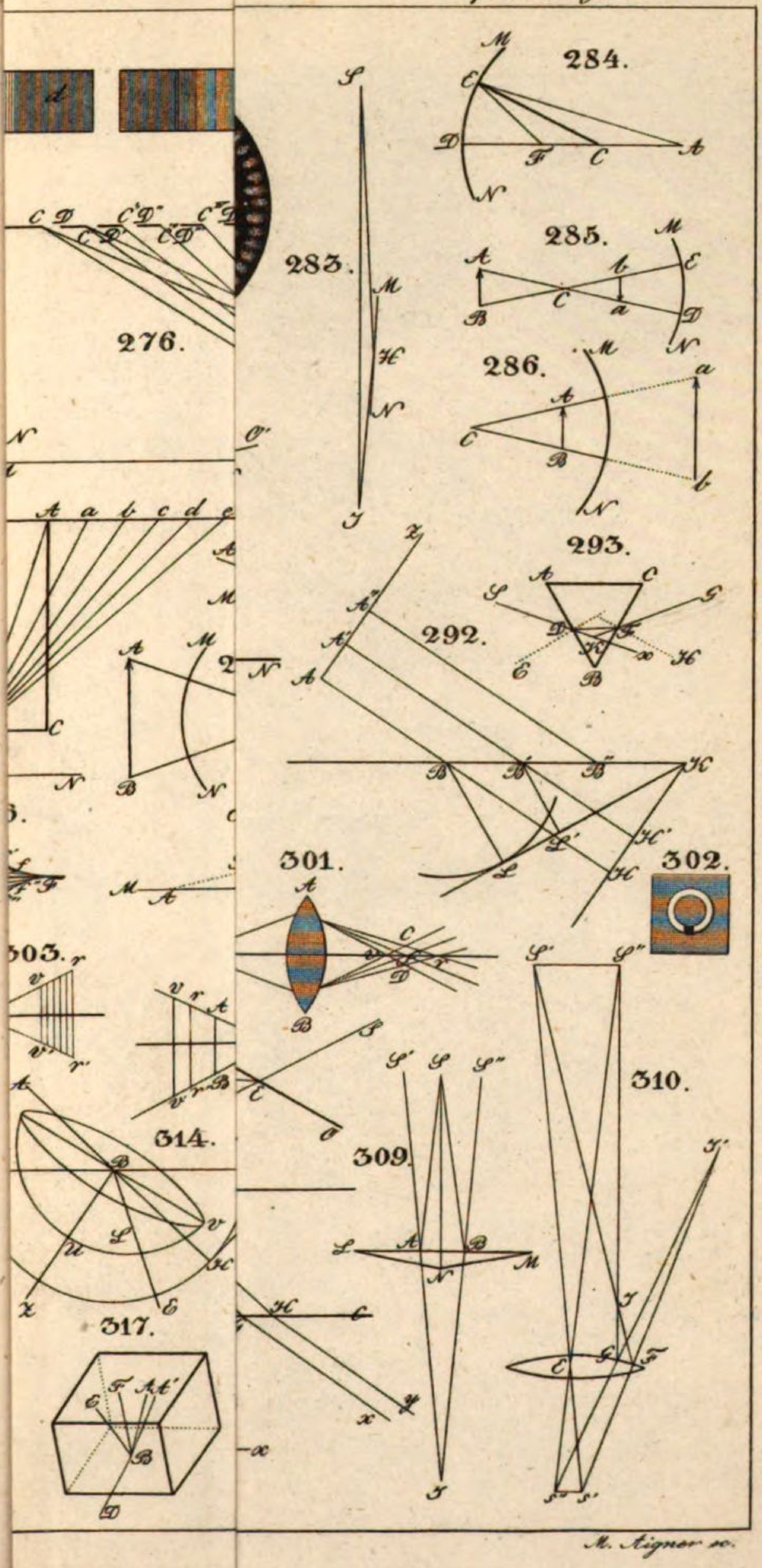


M. Aigner sc.

Taf. V. Fig. 217 – 270.

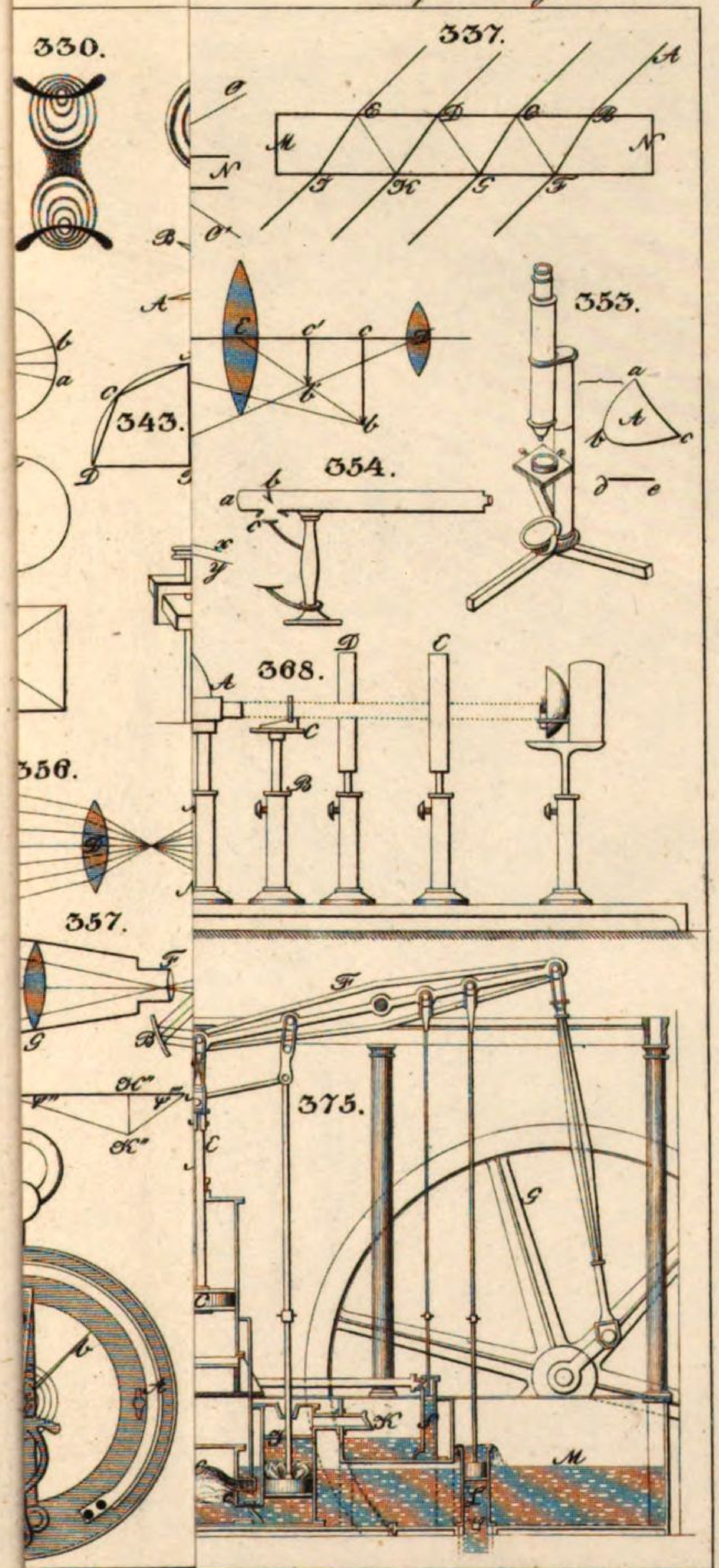


M. Aigner sc.



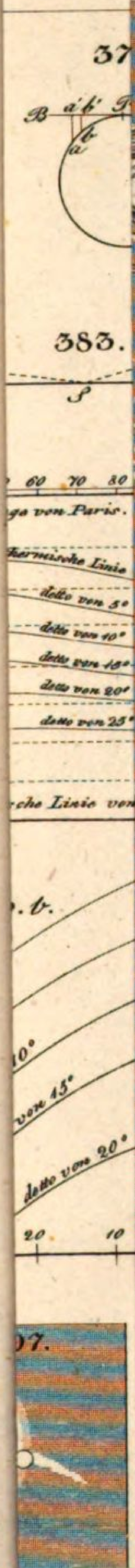
M. Aigner sc.

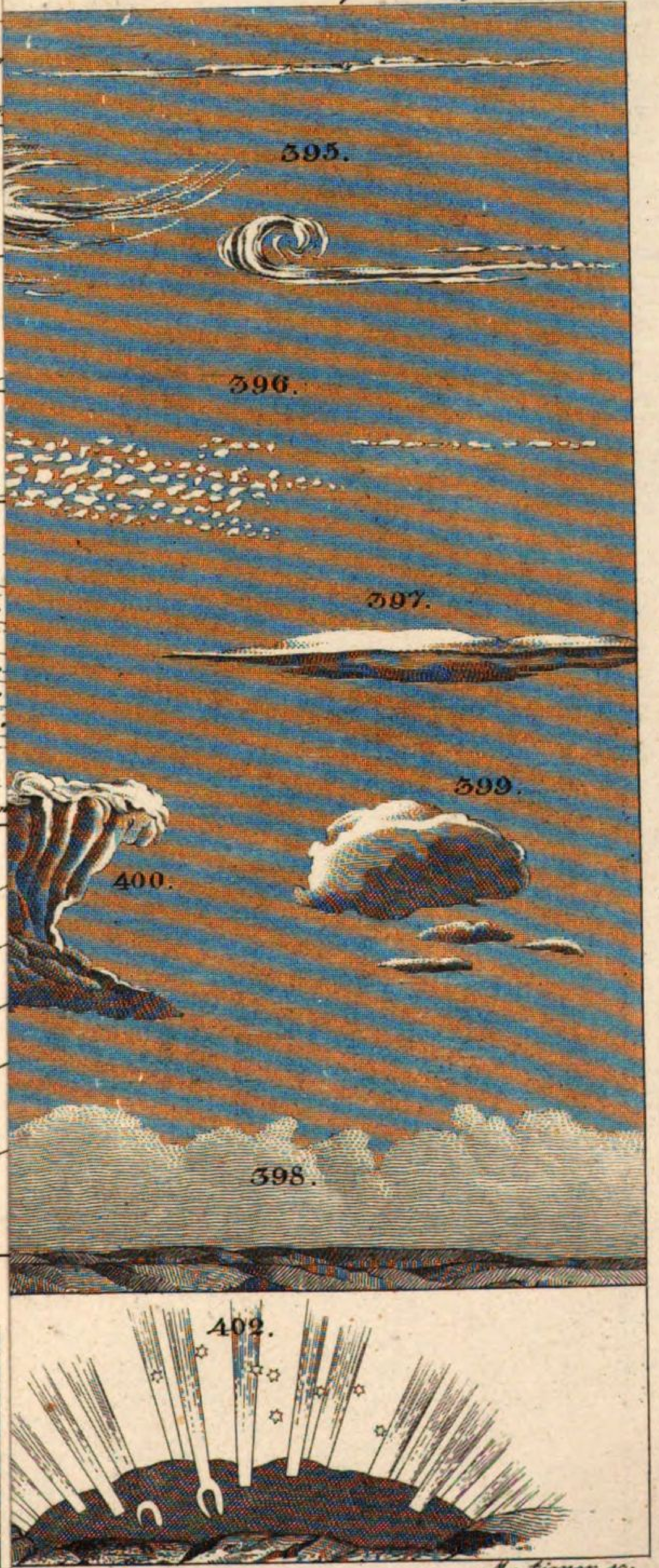
Taf. VII. Fig. 326–376.



M. Aigner sc.

Taf. VIII. Fig. 377_412.





M. Aigner sc.

Baumgartner, Andreas <<von>>,

Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande mit Rücksicht auf mathematische Begründung

Wien 1842

BHS II H 33
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10707480-0